



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**ENERGETICKÉ ZÁSOBOVÁNÍ VELETRŽNÍHO AREÁLU**

ENERGY SUPPLIES FAIRGROUNDS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Vladimír Foit**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**

**BRNO 2017**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Bc. Vladimír Foit**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Energetické inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Energetické zásobování veletržního areálu**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Náplní práce je posouzení energetického zásobování areálu BVV. Posouzeny budou jednotlivé možné zdroje tepelné energie a rozpracovány budou možnosti využití OZE v energetickém zásobování. Všechna hodnocení budou provedena pro reálný průběh ročního využití areálu.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Popis současného stavu energetického zásobování areálu BVV.
2. Návrh úprav tepelného hospodářství pro další období s uvažování přechodu CZT z páry na horkou vodu.
3. Zpracovat návrh možného zapojení dílčích zdrojů v areálu, včetně využití OZE.

### **Seznam doporučené literatury:**

DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. 2005. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 8073001187.

REZAIE, Behnaz a Marc A. ROSEN. 2012. District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements. Applied Energy. 93, 2-10. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.04.020. ISSN 03062619. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030626191100242X>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce s názvem *Energetické zásobování veletržního areálu* je rozdělena do čtyř okruhů. V prvních kapitolách je stručně uvedena teorie k jednotlivým zdrojům tepelné energie a chladu. V další části je zpracován současný stav energetického zásobování veletržního areálu. Třetí část pojednává o návrzích na možné úpravy energetického hospodářství jak pro celý areál, tak pro dílčí objekty. V poslední části jsou tyto úpravy shrnuty a reálné varianty zhodnoceny bližším ekonomickým rozbořem.

## ABSTRACT

The diploma thesis titled *Energy supplies fairgrounds* is divided into four parts. The first part is devoted to the theory of sources of froze and heat energy. The next part deals with current condition of energy supplies of fairgrounds. The third part is based on the design of possible adjustment of energetic management for both the whole compound and partial objects. The last part sums up all the adjustments and evaluates all the real variants by closer economic analysis.

## KLÍČOVÁ SLOVA

vytápění, chlazení, teplárenství, kogenerace, trigenerace, potrubí, plynovod, chladicí jednotka, fotovoltaický panel

## KEY WORDS

heating, cooling, rating industry, cogeneration, trigeneration, conduit, pipeline, cooling system, photovoltaic panel

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

FOIT, V. *Energetické zásobování veletržního areálu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 98 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem **Energetické zásobování veletržního areálu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

dne 26. května 2017

---

Vladimír Foit

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D., za cenné připomínky, rady a trpělivost při vypracování této diplomové práce. Dále děkuji společnosti BVV, a. s. za poskytnutí potřebných informací ohledně areálu. Děkuji také rodině za trpělivost a podporu v mém studiu.

# OBSAH

Úvod .....	9
1 Možnosti vytápění komerčních a průmyslových objektů .....	10
1.1 Zásobování z CZT .....	10
1.1.1 Technologie zásobování CZT .....	11
1.1.2 Předávací stanice .....	12
1.1.3 Ekonomika zásobování CZT .....	12
1.1.4 Zhodnocení CZT .....	13
1.2 Vlastní kogenerační jednotka .....	13
1.2.1 Užití vlastní kogenerační jednotky .....	13
1.2.2 Ekonomika užití vlastní KJ .....	15
1.2.3 Technologie kogenerace .....	15
1.2.4 Zhodnocení užití vlastní KJ .....	16
1.3 Zemní plyn .....	16
1.3.1 Lokální kondenzační plynový kotel .....	17
1.3.2 Ekonomika lokálního topení zemním plynem .....	18
1.3.3 Zhodnocení užití kondenzačního kotle .....	18
1.4 Obnovitelné zdroje energie .....	18
1.4.1 Solární energie .....	18
2 Návrh potrubní sítě .....	21
2.1 Hydraulický výpočet potrubí .....	21
2.2 Tepelný výpočet potrubí .....	24
3 Energetická náročnost budov .....	27
3.1 Přepočet ze zastavěného objemu na tepelnou ztrátu .....	27
3.2 Stanovení požadavku na chladicí výkon .....	28
4 Základní možnosti chlazení průmyslových a komerčních objektů .....	29
4.1 Kompresorové chlazení .....	29
4.2 Chlazení s absorpčním oběhem .....	30
4.3 Trigenerace .....	31
5 Brněnský veletržní areál a jeho energetické zásobování .....	32
5.1 Struktura a využití areálu .....	32
5.2 Využívání areálu .....	35



5.3	Vytápění .....	37
5.3.1	Parovod .....	38
5.3.2	Plynovod.....	42
5.4	Chlazení.....	43
5.5	Energetická bilance areálu.....	43
5.6	Využití odpadního tepla .....	46
6	Návrh úprav tepelného hospodářství.....	47
6.1	Úvodní analýza .....	47
6.1.1	Reálné náklady na energie.....	47
6.1.2	Cena za případné jednosložkové zásobování teplem.....	47
6.1.3	Možné návrhy .....	48
6.2	Posouzení přechodu CZT z páry na horkou vodu.....	48
6.2.1	Horkovod.....	49
6.2.2	Tepelné ztráty potrubí v areálu .....	49
6.2.3	Dopady přechodu z parovodu na horkovod .....	53
6.3	Návrh kogenerační jednotky na krytí celoroční potřeby TV .....	54
6.3.1	Celoroční spotřeba TV na výstavišti.....	54
6.3.2	Navržení kogenerační jednotky .....	54
6.3.3	Dopady instalace kogenerační jednotky na energetickou bilanci.....	55
6.3.4	Pořízení KJ .....	56
7	Návrh zapojení dílčích zdrojů v areálu.....	57
7.1	Návrh dílčích KJ v místě přímé potřeby TV .....	57
7.1.1	Navržení kogenerační jednotky .....	57
7.1.2	Dopady na energetickou bilanci .....	58
7.1.3	Pořízení jednotek .....	58
7.2	Návrh KJ na krytí tepelné spotřeby objektů HD1 a HD2 .....	59
7.2.1	Roční diagram trvání potřeby tepla .....	59
7.2.2	Návrh kogenerační jednotky a plynových kotlů.....	64
7.2.3	Dopady na energetickou bilanci .....	67
7.2.4	Pořízení zdrojů.....	68
7.3	Vytápění HD1 a HD2 plynovým kotlem.....	69
7.3.1	Potřebný výkon kotlů .....	69
7.3.2	Dopady návrhu na energetickou bilanci.....	73

7.3.3	Pořízení zdrojů .....	73
8	Návrh pokrytí celé potřeby tepla včetně tepla pro chlazení .....	74
8.1	Určení diagramu trvání potřeby tepla pro tepelné zásobování .....	74
8.2	Návrh ročního průběhu potřeby chlazení .....	75
8.2.1	Doba chlazení v jednotlivých budovách .....	76
8.2.2	Diagram trvání potřeby tepla .....	77
8.2.3	Stanovení výkonů a spotřeb pro nová zařízení .....	79
8.2.4	Volba absorpční chladicí jednotky .....	80
8.2.5	Dopady na energetickou bilanci s pořízením zdrojů .....	82
9	Návrh možného zapojení dílčích zdrojů využívajících OZE .....	83
9.1	Fotovoltaika na střeše pavilonu E .....	83
9.1.1	Základní informace pro návrh .....	83
9.1.2	Využitelná plocha .....	83
9.1.3	Dopady na energetickou bilanci a pořízení zdrojů .....	86
10	Vyhodnocení možných úprav energetického hospodářství .....	87
10.1	Instalace a užívání horkovodního potrubí .....	88
10.2	Vytápění objektů HD1 a HD2 .....	90
	Závěr .....	92
	Seznam použitých zdrojů .....	93
	Seznam symbolů a zkratk .....	96
	Seznam rovnic .....	98



# ÚVOD

Při současném zvyšování hospodářské a životní úrovně naší společnosti narůstá i pro tuto společnost potřeba energetického zajištění. Obecně lze říci, že energetická náročnost je přímo úměrná míře vyspělosti daného společenství. Očekává se, že i přes neustálý vývoj technologií na zajišťování nižší spotřeby jednotlivých objektů, bude globální potřeba energií neustále stoupat. V souvislosti se snižováním zásob fosilních paliv je nutné řešit otázku trvale udržitelného rozvoje a tedy i vývoj alternativních zdrojů či efektivnější využívání zdrojů stávajících, tedy i odpadního tepla. Dalším faktorem způsobující změny na trhu je zpřísnování emisního hospodářství jednotlivých objektů. Splňování přísných kritérií na vypouštění škodlivých látek do ovzduší je také znakem vyspělosti společnosti.

Pro samotného spotřebitele je nejdůležitějším faktorem ekonomika. Musí tedy hledat optimální řešení zdroje pro své potřeby, přičemž musí umět zhodnotit současný stav a budoucí vývoj na poli energetiky. Základem je zvyšování účinnosti daného zařízení a snižování spotřeby například pasivními prvky. Dále se pak může vhodně zapojit do soustavy obnovitelný zdroj energie.

Při volbě nového zdroje musíme dbát na co nejnižší investiční a provozní náklady a také na možnost co nejlevnější údržby a následné ekologické a ekonomické likvidace. Při porovnávání jednotlivých zdrojů je hlavním kritériem návratnost dané investice. Ta je závislá na způsobu využívání objektu. Ke stanovení způsobu využívání nám slouží spotřební charakteristika a to například v ročním cyklu.

Mezi hlavní volby patří užití centralizovaného nebo decentralizovaného systému. Každý má své výhody a nevýhody, které se musí při návrhu konkrétního případu zohlednit. Systémy jsou rozdílné především v investičních a provozních nákladech. Z pohledu spotřebitele jsou při užití centralizovaného systému investiční náklady nízké. Při vlastním decentralizovaném zdroji, kdy chceme dosáhnout přijatelné návratnosti, je základem získat za vyšší investiční náklady co nejnižší náklady provozní. Významnou možností, jak ještě zlepšit návratnost, je nabídnout svoji nepotřebnou produkci dále do soustavy. Například pomocí kogenerace.

Pro náš případ budeme porovnávat možnost připojení na centrální zásobování teplem s možností kogenerace, samostatné vlastní vytápění a možností připojení fotovoltaického panelu do systému.

# 1 MOŽNOSTI VYTÁPĚNÍ KOMERČNÍCH A PRŮMYSLOVÝCH OBJEKTŮ

Druh energetického zásobování je nutné zvolit podle charakteristického způsobu využití daného objektu. Záleží, zda jde o potřeby tepla či pouze elektrické energie, popřípadě obou. Dále je důležitý pohled na způsob ročního využití.

Dle využívání napojujeme závody na CZT nebo užíváme vlastních zdrojů a to například závodní výtopny nebo teplárny na zemní plyn. Uhlí se v decentralizovaném zásobování teplem používá méně než výše uvedený zemní plyn. Roste využití kogeneračních jednotek, samostatných spalovacích motorů i spalovacích turbín. Při volbě systému získávajícího elektrickou energii a současně její malé vlastní spotřebě je třeba mít garantovaný její výhodný prodej do sítě, což v dnešních podmínkách představuje určitý problém. Naopak při významném využití elektrické energie oproti tepelné nám klesá význam užití kogenerace. Menší jednotky mohou sloužit k ohřevu TUV.

Pro využívání komerčních budov je příznačná potřeba chladu v letních měsících. Dle této potřeby je na zvážení užití trigenerace.

## 1.1 Zásobování z CZT

Mezi zdroje spadající do kategorie centralizovaného zásobování teplem patří výtopny a teplárny. V dnešní době se na území měst vyskytují převážně teplárny. Rozdíl je v účelu využití, kdy ve výtopnách probíhá pouze transformace energie paliva na tepelnou, zatímco v teplárnách získáváme zároveň energii elektrickou, což vede k efektivnějšímu způsobu využití paliva.

Jak už bylo řečeno, v teplárně probíhá kombinovaná výroba páry pro technologické účely a to k otápění či ohřevu vody a dále k výrobě elektrické energie. Základní typ tepláren pracuje podle Rankin – Clausiova cyklu. Základem je užití parní turbíny. Dalším typem je užití plynové turbíny pracující na základě Braytonova cyklu. Když zkombinujeme tyto dva typy, získáme zatím nejmodernější a nejefektivnější způsob – paroplynový cyklus.

Zdroje se dimenzují dle **roční doby využití maximálního výkonu**. Pro každou lokalitu je dána charakteristická venkovní výpočtová teplota. Například pro Brno -12 °C. Jednotlivé zdroje pak nabíhají podle **diagramu trvání potřeb tepla**. Základní zdroje, běžící po celý rok slouží k ohřevu TUV a pro technologické účely průmyslu. Mezi tyto zdroje patří především spalovny komunálního odpadu, které i díky svému účelu musí běžet po celý rok. Mezi další zdroje se řadí zdroje využívající paroplynu, protože ten má nejvyšší teplotenský modul. To znamená, že dodává nejvíce elektrické energie, což je pro teplotenský subjekt ekonomicky výhodné. Mezi špičkové zdroje pak řadíme zdroje plynové, uhelné nebo na biomasu.

CZT je vhodné například v nové zástavbě (díky nižším pořizovacím nákladům) nebo v hustě osídlené zástavbě. Zdroje tepla mohou být vhodně voleny dle místních možností (dostupnost paliva – vyšší efektivnost, méně emisí). Společná výroba je také vhodná, co se týká životního prostředí. Velkou výhodou je komfortnost, kdy se nemusíme zkrátka starat o údržbu zařízení. V zalidněných oblastech je však problém takové zdroje zřizovat. Nevýhodou je také tzv. monopol majitele sítě, což není výhodné pro spotřebitele. Zároveň je na dodávkách spotřebitel závislý. [1, 2, 3, 4]

### 1.1.1 Technologie zásobování CZT

#### *Doprava tepla*

Dodávku zajišťuje přenosová síť, která je buď parovodní, nebo horkovodní. Vedení je liniové, okružní nebo paprskové. Také se dělí na podzemní a nadzemní (dálkové). V Brně v současnosti dochází k přechodu z parovodní na horkovodní síť pro vytápění běžných spotřebitelů. Tím se docílí menšího teplotního spádu mezi potrubím a okolním prostředím. A tedy ke snížení tepelné ztráty.

#### *Parovod*

Parní potrubí bývá užíváno jako jednotrubkové nebo dvoutrubkové. Pro různé tlakové hladiny je užíváno vícetrubkového systému. Parovodní potrubí je typické pro průmyslová města, jako jsou České Budějovice nebo Brno.

K oběhu nám postačují napájecí čerpadla. Kondenzátní potrubí je z nerez, menší až o tři řády oproti parnímu. Dimenzováno je například na  $p = 0,9 \text{ MPa}$ ;  $t = 210 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Daná teplota a tlak páry limitují expanzi v turbíně.

Teplo přenášené parou je dáno vztahem (1.1):

$$Q = M_p \cdot L \quad (1.1)$$

kde,

Q	[kJ]	teplo média
$M_p$	[kg]	množství páry
L	[kJ/kg]	měrné kondenzační teplo páry (2200 – 2500) kJ/kg

#### *Horkovod*

Zpravidla dvoutrubkové nebo čtyřtrubkové – zde je zahrnut okruh pro ohřev teplé užitkové vody. Médium je nestlačitelná kapalina, proto je zde malá čerpací práce. K zajištění oběhu jsou nutná oběhová čerpadla. Dimenzováno například na  $p = 2,5 \text{ MPa}$ ;  $t = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (maximálně). Pro různou roční potřebu je možno užít základního a špičkového ohříváku.

U tohoto typu je snazší regulace protože můžeme regulovat dva parametry a to teplotu i průtok. Toto plyne z výpočtu tepla přenášeného horkou vodou (1.2). Říkáme tomu

kvalitativně-quantitativní regulace. V parovodním systému můžeme regulovat pouze množství páry.

Na základě této rovnice vidíme, že je úkolem zajistit co nejmenší rozdíl teplot příchozího a odchozího média.

$$Q = \dot{M} \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) \quad (1.2)$$

kde

$Q$	[W]	teplo média
$\dot{M}$	[kg·s <sup>-1</sup> ]	průtok média
$c_p$	[kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná kapacita vody 4,2 kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
$t_{2,1}$	[K]	teplota odchozího (2) a příchozího (1) média

Horkovodní síť také přináší více možností regulace. Zatímco parovodní síť se může regulovat pouze změnou množství páry  $\dot{M}_p$  (**kvantitativní regulace**), horkovodní síť má proměnné dva parametry a to průtok vody  $\dot{M}$  (**kvantitativní**) ale také rozdíl teplot  $\Delta t$  (**kvalitativní regulace**).

### 1.1.2 Předávací stanice

Máme několik způsobů, jak se připojit na síť:

- tlakově nezávislá soustava
  - připojení pomocí výměňkové stanice
    - centrální výměňková stanice (CVS)
      - pro několik objektů najednou
    - kompaktní předávací stanice (KPS)
      - každý objekt má svoji stanici
      - provozně i investičně levnější než CVS
- tlakově závislá soustava
  - připojení přímo na síť
  - regulační a bypassové ventily
  - pro spotřebitele nejlevnější (odpadá výměňková stanice)

### 1.1.3 Ekonomika zásobování CZT

Konečná cena tepla je závislá na více parametrech:

- investiční náklady
  - možnost některých odpisů
- ztráty sítě a její údržba
  - parní síť až 5 GJ·km<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>

- emisní povolenky
- platba DPH
- podnikatelský subjekt (přiměřený zisk)
- palivo
  - zemní plyn ( $500 - 700 \text{ Kč} \cdot \text{GJ}^{-1}$ ) pro běžné domácnosti

#### 1.1.4 Zhodnocení CZT

- |  |   |
|--|---|
| ✓ Šetrnost k životnímu prostředí   | ✗ Dopravní ztráty                                     |
| ✓ Vysoké tepelné výkony  | ✗ Závislost spotřebitele na topné sezóně              |
| ✓ Úspora primárních paliv  | ✗ Cena za obsluhu, zisk společnosti, emisní povolenky |
| ✓ Možnost různých tlakových úrovní   | ✗ Údržba rozsáhlého vedení                            |
| ✓ Spolehlivý, zálohovaný zdroj   | ✗ Vyšší cena za jednotku tepla                        |
| ✓ Pohodlný zdroj pro spotřebitele  |   |
| ✓ Při tzv. blackoutu mohou pracovat jako malé ostrovní systémy pro nutnou spotřebu |   |

## 1.2 Vlastní kogenerační jednotka

Pokud pro nás není výhodné připojit se na CZT, přistoupíme k decentralizovanému systému s možností dodávky elektrické energie do elektrizační soustavy.

Teplo do prostoru objektu je dodáváno pomocí vlastní kogenerační jednotky, výtopy na zemní plyn, biomasu nebo uhlí nebo užitím individuálních topných těles například elektrických.

### 1.2.1 Užití vlastní kogenerační jednotky

Navrhnutí KJ je podmíněno základními podmínkami [1]:

- v blízkosti je žádoucí dostupnost paliva a vody
- vhodnost vyrobené elektrické energie (vlastní spotřeba + dodávky do sítě a to jak jsou dotovány)
- prostor pro výstavbu
- dobrá, co nejkratší, vzdálenost od spotřebitele tepla
- legislativní požadavky (emise, veřejný zájem, hluk)

Kogenerační jednotky jsou různých výkonů, buď jsou součástí velkých výroben a jsou tedy začleněny do CZT, nebo jsou to jednotky malých výkonů, které jsou vhodné pro užití v DZT. I přes klesající pořizovací náklady stále nejsou úplně vhodné pro nejmenší jednotky, jako jsou rodinné domy. Někdy se užívá zkratka KVET jako kombinovaná výroba elektřiny a tepla.

Principem je transformace paliva na tepelnou a zároveň na elektrickou energii. Využívá se tak odpadní teplo, které by bylo jinak bez užitku ztraceno. Účinnost oddělené výroby



elektriny se pohybuje v rozmezí 30 – 40 %. Tepelné energie pak okolo 85 %. Výpočet účinností při oddělených výrobach je udán rovnicemi 1.3, 1.4. [1, 5]

$$\eta^E = \frac{E}{Q_{pal}} = \frac{35}{100} = 0,35 \quad (1.3)$$

$$\eta^Q = \frac{Q}{Q_{pal}} = \frac{85}{100} = 0,85 \quad (1.4)$$

Pokud vezmeme, že je to zisk ze 100 % paliva potom účinnost oddělené výroby vypadá dle výpočtu (1.5).

$$\eta^{odv} = \frac{E + Q}{2 \cdot Q_{pal}} = \frac{35 + 85}{200} = 0,60 \quad (1.5)$$

Nyní se na účinnost podíváme užitím společné výroby. (1.6) Zde se elektrická účinnost pohybuje okolo 30 % a tepelná okolo 50 %.

$$\eta^{KVET} = \frac{E + Q}{Q_{pal}} = \frac{30 + 50}{100} = 0,80 \quad (1.6)$$

kde

$\eta$	[-]	účinnost při výroby elektrické (E), tepelné (Q), oddělené (odv) a kogenerační (KVET)
E	[GJ]	elektrická energie
Q	[GJ]	tepelná energie
$Q_{pal}$	[GJ]	energie přivedená v palivu

Na základě těchto ilustračních výpočtů vidíme výhodu užití kombinované výroby. Cílem kogenerace je tedy maximalizace zisku energie z použitého paliva při dosažení co nejvyšší účinnosti přeměny na elektrickou energii.

Poměr mezi získaným množstvím elektrické energie k energii tepelné nazýváme **teplárenský modul e** (1.7).

$$e = \frac{E}{Q} \quad [-] \quad (1.7)$$

Teplárenské moduly pro různá zařízení jsou v Tab. 1.1.

**Tab. 1.1** Teplárenské moduly a celkové účinnosti u různých zařízení [1]

Druhy kogeneračních zařízení	Teplárenský modul	Celková účinnost
Parní turbíny	0,1 – 0,4	75 – 88 %
Spalovací turbíny	0,4 – 1,2	75 – 90 %
Paroplynová zařízení	0,8 – 2,0	85 – 90 %
Spalovací motory	0,5 – 1,1	75 – 92 %

### 1.2.2 Ekonomika užití vlastní KJ

Při užití vlastní kogenerační jednotky je v první řadě nutné počítat s dlouhodobějším užíváním, aby byla splněna námi plánovaná návratnost. Ta je totiž závislá na vyšších pořizovacích nákladech a nižších nákladech provozních.

Celkové ekonomické zhodnocení je závislé nejen na zajištění dodávek pro spotřebitele ale i na případném zajištění produkce na trh, která nám poskytne snížení finanční náročnosti. Investiční náklady se dělí na cenu jednotky a na náklady na připojení do systému. Provozní náklady zahrnují nejen náklady na palivo ale také na údržbu. Ta se provádí dle pokynů výrobce tak, aby přispěla k úspoře nákladů. [4]

### 1.2.3 Technologie kogenerace

V posledních letech dochází k rozvoji této technologie a to zejména díky narůstající poptávce a příznivosti legislativních opatření poslední doby.

Jednotky se skládají z těchto částí:

- zařízení pro úpravu primárního zdroje energie (palivo)
  - úprava vstupujícího paliva na požadované parametry
    - zušlechtění paliva
      - zvýšení energie obsažené v objemové/hmotnostní jednotce paliva
      - často prováděno dodavatelem
      - zvýšení nákladů
    - úprava prvkového složení
      - odstraňování nežádoucích příměsí (voda, CO<sub>2</sub>, pevné částice)
    - úprava podmínek použití
      - vylepšení podmínek pro uvolnění energie z paliva (tlak, teplota)
- primární jednotka (motor)
  - hlavní část, která ovlivňuje využití jednotky

- pro jednotlivé způsoby užití máme jednotky:
  - tepelný motor
  - palivový článěk
- zařízení na výrobu a úpravu elektrické energie (generátor)
  - elektrický generátor
    - přeměna mechanické energie na elektrickou
    - stejnosměrné/střídavé
  - elektrický měnič
    - úprava parametrů elektrického proudu (frekvence, přeměna stejnosměrného na střídavý)
- zařízení pro rekuperaci tepelné energie (kotel nebo výměník tepla)
  - transformace odváděného tepelného výkonu z jednotky na požadovanou formu
  - běžně:
    - nízkoteplotní voda (do 100 °C)
    - vysokoteplotní voda (150 – 200 °C)
    - vodní pára
    - teplý vzduch
- kontrolní a řídicí systém

#### 1.2.4 Zhodnocení užití vlastní KJ

- |  |  |
|--|--|
| ✓ Snížení ztrát při dodávce elektřiny                | ✗ Vyšší pořizovací náklady                             |
| ✓ Snížení ztrát při dodávce tepla                    | ✗ Nižší komfort – údržba a provoz na vlastní zajištění |
| ✓ Nižší výrobní náklady na jednotku tepla oproti CZT |  |
| ✓ Šetrnost k primárním zdrojům                       |  |

### 1.3 Zemní plyn

Spotřebitel, který preferuje samostatnost a nezávislost vytápěného prostoru na ročních dodávkách z CZT může dát přednost svému lokálnímu topeništi. Užit může například plynových kotlů. Touto technologií je finančně suspendován reálně za to, co doopravdy protopí – odpadá zde doplatek na ztráty tepelné sítě. Není limitován ročním provozem topáren.

Vytápění zemním plynem je ekologické – nevznikají částice (saze, popílek), ani další látky jako dioxiny a furany, tedy látky, vznikající při spalování uhlí či biomasy. Emise CO a SO<sub>x</sub> jsou zanedbatelné. Vypouštěné CO<sub>2</sub> pak nabývá 25 % až 50 % hodnot vznikajících spalováním jiných druhů paliv jako uhlí, biomasa nebo topné oleje.

Pro topení zemním plynem se užívalo nízkoteplotních plynových kotlů. Dnes se užívají výhradně kotle kondenzační. Společně s regulovanými a modernizovanými technologiemi dosahuje tato aplikace poměrně vysokých energetických účinností. [6]

### 1.3.1 Lokální kondenzační plynový kotel

K základní teorii pro pochopení výhody kondenzačního kotle patří znalost pojmů **spalné teplo** a **výhřevnost**.

#### *Výhřevnost*

Množství tepla uvolněného dokonalým spálením jednotkového množství paliva a následným ochlazením vzniklých spalin na 20 °C. Vodní pára nekondenzuje a zůstává ve formě plynu.

U klasických kotlů tedy odchází teplo obsažené ve vodní páře do komína.

#### *Spalné teplo*

Množství tepla uvolněného dokonalým spálením jednotkového množství paliva a následným ochlazením vzniklých spalin na 20 °C. Zároveň obsahuje také tzv. latentní teplo, tedy vázané teplo vodní páry, které se uvolňuje její kondenzací ve spalinách.

Kondenzační kotel tedy využívá kondenzace vodní páry vzniklé spalováním metanu ( $\text{CH}_4$ ) i propanu ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ). Spaliny ochladíme pod teplotu rosného bodu, tím dojde ke změně skupenství vodní páry (kondenzaci) a tím pádem i k zisku latentního tepla. Tato uvolněná energie se užívá k předehřevu vratné vody do kotle. Ze zemního plynu můžeme získat až 11 % využití latentního tepla.

#### *Účinnost*

Účinnost spalovacích zařízení určujeme z výhřevnosti. U kondenzačních technologií je tato účinnost vyšší než 100 %. Abychom mohli porovnávat kondenzační technologie s dalšími konvenčními technologiemi, užíváme tzv. **normovaný stupeň využití**. Při přepočítání účinnosti ze spalného tepla pak dostáváme u kondenzačních kotlů korektní hodnotu okolo 97,5 %.

Pro zemní plyn je teplota rosného bodu 57 °C za předpokladu ideálního spalování – tedy bez přebytku vzduchu ( $\alpha = 1$ ). Teplota vratné vody je požadována přibližně o 5 °C nižší než teplota spalin. Pokud bude teplota vyšší, zařízení bude pracovat s účinností nízkoteplotního kotle. Jak bylo výše zmíněno, teplotu rosného bodu ovlivňuje množství přebytku vzduchu. Přebytek vzduchu je poměr skutečně dodávaného vzduchu ku stechiometrickému množství potřebnému k hoření. Například při přebytku vzduchu  $\alpha = 2$  je teplota rosného bodu již 45 °C.

Kondenzační kotel pracuje s přebytky okolo  $\alpha = 1,2 - 1,5$ . Teplota rosného bodu se pohybuje v intervalu 50 °C až 55 °C.

Vzniklý kondenzát je nutno odvádět. Správce kanalizační sítě musí schválit tento odvod do kanalizace. Kondenzát má kyselost spalin  $\text{pH} = 5$ , přibližně jako dešťová voda. Pro

větší zařízení je třeba zřídit neutralizační zařízení. To funguje na principu chemické neutralizace za pomoci průtoku přes mramor nebo dolomit. Ze zemního plynu vzniká  $1,53 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  kondenzátu. [7]

### 1.3.2 Ekonomika lokálního topení zemním plynem

Cena za jednotku tepla je odvislá od cen plynu na trhu. Momentálně jsou ceny za plyn příznivé. Pořizovací náklady jsou nízké a tudíž to, zda užívat tuto technologii závisí převážně na pohybu jednotkové ceny za plyn.

Cena se momentálně pohybuje v rozmezí  $7 - 12 \text{ Kč} \cdot \text{m}^{-3}$ . [8, 9]

### 1.3.3 Zhodnocení užití kondenzačního kotle

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| ✓ Snadná regulovatelnost výkonu | ✗ Náklady na revize   |
| ✓ Ekologický provoz             | ✗ Vhodný komín  |
| ✓ Pořizovací i provozní náklady | ✗ Odvod kondenzátu  |
| ✓ Výborná účinnost              | ✗ Předvídatelnost vývoje cen plynu a s tím spojené plánování provozních nákladů na delší období |

## 1.4 Obnovitelné zdroje energie

V posledních letech sílí požadavky na začleňování těchto technologií do energetických koncepcí. Pro průmyslové a komerční areály je ale prozatím nemyslitelné, že by byly odkázány pouze na energii získávanou z těchto aplikací. Pro možnost získání určitých úspor se volí začleňování některých jednotek alespoň v nějakém rozumném podílu. V energetice jako takové tomuto říkáme „energetický mix“. Zároveň s těmito prvky musí být začleněny i vhodné pasivní prvky jako zateplení, podlahové vytápění, optimalizované větrání včetně rekuperace přiváděného vzduchu.

### 1.4.1 Solární energie

Na solární energii závisí obecně veškeré obnovitelné zdroje. Sluneční energie je pohonem od vodních a větrných elektráren, tepelných čerpadel až po samotné fotovoltaické a fototermické aplikace všeho druhu (obecné kolektory, koncentrující kolektory, komínové kolektory aj.).

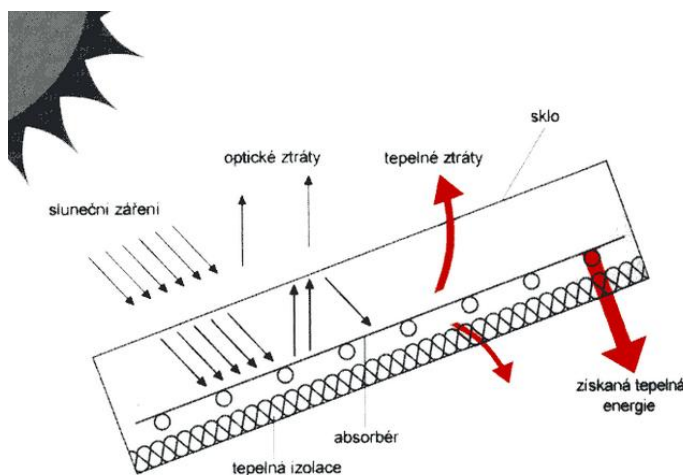
Pokud budeme rozhodovat, zda v areálu užít technologii fotovoltaiky, či fototermiky, musíme zohlednit zeměpisnou šířku, charakter podnebí a trendů počasí v dané lokalitě, dále také to, jakou plochou disponujeme pro instalaci zařízení. Důležité pak je si říci, k jakému účelu bude technologie využívána. Zdroj budeme volit jako doplňkový. Pro komerční nebo průmyslové areály menších a středních rozloh jistě nebude výhodné instalovat fotovoltaické články na výrobu elektrické energie. Té bude, s ohledem na energetickou politiku našich západních sousedů, v létě spíše přebytek. Lepší aplikací je patrně dovybavit nevyužité střešní plochy areálu solárními kolektory například na ohřev

teplé užitkové vody, topné vody nebo topného vzduchu. K této aplikaci je nutné dovybavit areál také akumulární nádrží vhodné velikosti.

Jak již ze samotného principu vyplývá, nejvíce této energie můžeme získat v měsících, kdy je poptávka založena především na chladu. Proto zvažujeme užití solárních klimatizačních jednotek.

### **Solární ohřev**

Cílem solárního kolektoru je transformace sluneční energie záření na tepelnou energii. To se děje dopadem slunečního paprsku na plochu absorbéru a odvodem pomocí teplosnosné látky. Celý princip je na obr. 1.1. Při konstrukci se snažíme přiblížit emisivitu  $\varepsilon = 0$  (dokonale černé těleso, kdy není vyzařována žádná energie zpět a tím nedochází ke ztrátám). Dalším parametrem je součinitel relativní absorpce  $a$ . Ideálně  $a = 1$ . Přiřazením tzv. selektivní vrstvy se snažíme zvýšit poměr  $a/\varepsilon$  na co nejvyšší hodnotu. Selektivní vrstvou myslíme vrstvičky tmavého kovu například niklu a chromu na vrstvu lesklého kovu například hliníku.



**Obr. 1.1** Solární kolektor [10]

### **Solární chlazení**

Způsobů užití solární energie ke klimatizování budov je několik. Hlavní dělení záleží na typu pohonu. Můžeme využívat energie elektrické z fotovoltaiky a nebo tepelné energie z kolektorů. Výčet možností:

- elektrický pohon
  - kompresorové
  - odpařovací
- tepelný pohon
  - termomechanická přeměna
    - RC cyklus
    - Stirlingův cyklus
  - sorpční metoda
    - otevřené cykly
      - kapalný sorbent – deskové výměníky
      - tuhý sorbent – desikační výměník
    - uzavřené cykly
      - kapalný sorbent – **voda/LiBr**

- tuhý sorbent – silikagel/voda, zeolit/voda

Elektrický pohon využívají klasické klimatizační jednotky. RC a Stirlingův cyklus se dají aplikovat také do klasického chlazení například jako pohon kompresoru.

K aplikacím v našem podnebí se dají užívat především systémy založené na sorpčním mechanismu. Podle cyklu chladiva dělíme cykly na otevřené a uzavřené. U cyklu s otevřeným oběhem je chladivo po vykonání chladicího účinku odvedeno a nahrazeno novým. V cyklech s uzavřeným oběhem rozlišujeme dva typy aplikací a to absorpční – plynné chladivo zachytáváno v kapalině a adsorpční – plynné chladivo zachytáváno v tuhé látce (vysoce porézní).

Adsorpční chlazení se užívá u jednotek menších výkonů. [11, 12, 13]

## 2 NÁVRH POTRUBNÍ SÍTĚ

Obecně inženýrské sítě dělíme dle normy ČSN 73 6005 na čtyři kategorie. První kategorií je **tranzitní, nadřazené** vedení, které spojuje vzdálený zdroj s vlastní sítí. Zde je příkladem vzdálený zdroj tepla. Například kdysi plánované zásobování města Brna z jaderné elektrárny Dukovany nebo realizované spojení Mělník-Praha. Další kategorií je vedení **hlavní, oblastní, zásobovací**. Toto zabezpečuje městský přenos k předávacím stanicím. Třetí kategorie zahrnuje vedení **vedlejší, uliční, spotřební, rozvodné**. Což je vedení od předávacích stanic k jednotlivým přípojkám. V poslední kategorii je vedení **podružné** a to zahrnuje domovní přípojky.

V areálu většího podniku tedy nalezneme převážně vedení III. a IV. kategorie. V takovém podniku pak rozhodujeme o typu sítě. Jak bylo výše napsáno, síť může být liniová, paprskovitá nebo okružní. To, jaká síť je vhodná pro daný podnik, rozhoduje jeho velikost a náročnost spotřeby.

### 2.1 Hydraulický výpočet potrubí

Volbu potrubí pro rozvod po městě, areálu atd. provádíme na základě teoretických znalostí hydraulického výpočtu. Řešíme zde tlakové a průtokové změny v jednotlivých částech vedení. Tyto změny se dějí díky změnám vnitřní, polohové, pohybové a tlakové energie na sledovaných úsecích vedení. Další změny vznikají překonáváním hydrodynamických odporů potrubí. Tím vzniká právě tlaková ztráta a to prouděním přímým porubím a nebo při překonávání místních odporů jako jsou armatury, kolena, změny směru vedení atd.

Základem pro výpočet jsou rovnice kontinuity (2.1) a Bernoulliho rovnice pro nestlačitelnou kapalinu (2.2).

$$\dot{Q}_v = \frac{\dot{M}}{\rho} = S \cdot w \quad (2.1)$$

kde

$\dot{Q}_v$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	objemový průtok média
$\dot{M}$	$[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$	hmotnostní průtok média
$S$	$[\text{m}^2]$	průřez potrubí v určeném místě
$\rho$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	hustota média
$w$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	rychlost proudícího média

Volba rychlosti proudícího média se provádí na základě doporučení a zvyklostí v daných oborech. Střední rychlost vody nabývá hodnot od 1 do 3  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Sytá pára pak 10 – 25  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  a přehřátá pára 30 – 60  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ . [14]



$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{w_1^2}{2} \rho = p_2 + \rho gh_2 + \frac{w_2^2}{2} + \Delta p_{z\ 1 \rightarrow 2} \quad (2.2)$$

kde

$p$	[Pa]	statický tlak média
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
$h$	[m]	výška uvažovaného bodu
$\Delta p_{z\ 1 \rightarrow 2}$	[Pa]	tlaková ztráta celého úseku mezi body 1 a 2

indexy 1 a 2 značí umístění – počátek (1) a konec (2) uvažovaného úseku

Jednotlivé členy rovnice (2.2) zleva:  $p$  statický tlak média, dále  $\rho gh$  hydrostatický tlak,  $\frac{w}{2}$  představuje dynamický tlak. Jelikož se při konstantním průřezu rychlost média výrazně nemění, lze tento člen vypustit (rozdíl = 0). Rovnici lze tedy upravit na tvar (2.3).

$$p_1 = p_2 + \Delta p_z + \Delta h \rho g \quad (2.3)$$

Zde je  $\Delta h$  rozdíl výšek obou konců uvažovaného úseku.

Tlaková ztráta se pak dělí na (2.4):

- Tlakovou ztrátu vzniklou prouděním přímým potrubím o neproměnném průřezu ( $\Delta p_\lambda$ )
- Tlakovou ztrátu vzniklou v místě lokálních odporů ( $\Delta p_\xi$ )

$$\Delta p_z = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi \quad (2.4)$$

Délková ztráta se počítá podle rovnice (2.5) za podmínky, že je průřez konstantní a je závislá na součiniteli tření, který zjistíme z literatury a to podle typu proudění. Proudění dělíme podle Reynoldsova čísla na laminární ( $Re < 2320$ ), přechodové ( $2320 < Re < 6000$ ) a turbulentní ( $Re > 6000$ ). Výpočet Reynoldsova čísla se provádí podle rovnice (2.6). [14, 15]

$$\Delta p_\lambda = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (2.5)$$

$$Re = \frac{d \cdot w}{\nu} \quad (2.6)$$

kde

$l$	[m]	délka uvažovaného úseku
$d$	[m]	průměr potrubí
$\lambda$	[-]	součinitel tření
$\nu$	[m <sup>2</sup> ·s]	kinematická viskozita

Při vysokých hodnotách  $Re$  – v tepelných sítích často nám k výpočtu součinitele tření postačuje rovnice (2.7). Ta je závislá pouze na drsnosti potrubí  $k$  [m]. Hodnoty jsou tabelovány v normě ČSN 38 3350. Při menších průřezích může nastat i situace kdy počítáme součinitel tření v závislosti, jak na drsnosti potrubí, tak na Reynoldsově čísle. Tyto vztahy nalezneme také v literatuře. [14]

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k}{d}\right)^{0,25} \quad (2.7)$$

Vřazením místních odporů jako jsou armatury, ventily, změna směru proudnice (koleno) nebo změna profilu vzniká tlaková ztráta  $\Delta p_\xi$  (2.8). Hodnoty ztrátového součinitele  $\xi$  jsou určovány empiricky a lze je najít ve specializované literatuře. Výpočet celkové tlakové ztráty provádíme převodem této ztráty pomocí tzv. **rovnomocné délky**  $l_\xi$  (2.9). To je délka, která by způsobila takovou tlakovou ztrátu jako místní odpor. Pro výpočet celkové tlakové ztráty tedy použijeme rovnici (2.10).

$$\Delta p_\xi = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (2.8)$$

$$l_\xi = \xi \cdot \frac{d}{\lambda} \quad (2.9)$$

$$\Delta p_z = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (2.10)$$

$$\rightarrow L = \sum l \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot \sum \xi \quad (2.11)$$

Návrh průměru potrubí provádíme buď z předem určené střední rychlosti média, z tlakové ztráty nebo pomocí přenosového výkonu. Střední rychlost média – horké vody je zvolena například 1 m·s<sup>-1</sup> (dle zkušeností výpočtářů) a průměr se stanoví z upravené rovnice kontinuity (2.12).

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{m}}{\rho \cdot w}} \quad (2.12)$$

Hmotnostní průtok získáme z rozdílu teplot média a potřebného tepelného výkonu celého objektu.

## 2.2 Tepelný výpočet potrubí

V rámci tepelného výpočtu se dostáváme do teorie přenosu tepla. Přenos tepla je rozšířením termomechanických znalostí například o metody výpočtu velikosti tepelného toku, o přenosu tepla na rozumně konečné ploše a v reálném čase. Důležitým poznatkem je existence teplotního gradientu mezi systémem a jeho okolím nebo mezi různými systémy navzájem. Teplotní gradient určuje směr (měrného) tepelného toku, což popisuje **Fourierův zákon**. Měrný tepelný tok  $\dot{q}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] určuje přenos určitého tepelného toku  $\dot{Q}$  [ $\text{W}$ ] plochou  $1 \text{ m}^2$ . Pro přenos tepla máme tři mechanismy:

- vedení (kondukce)
- proudění (konvekce)
- záření (radiace)

V kapitole zabývající se teplárenskou sítí se budeme zabývat pouze **kondukcí a konvekcí**.

Pro přenos tepla **vedením** je charakteristický přenos energie od částic, které mají vyšší energii (s tím je spojena i vyšší teplota) k částicím s nižší energií. Přenos se pak uskutečňuje ve směru klesající teploty. Matematicky je gradient směr největšího růstu. Fourierův zákon proto obsahuje záporné znaménko, jelikož vyjadřuje právě směr klesající teploty – směr měrného tepelného toku (2.13). Pro liniové vedení potrubím nám stačí pouze v jednoosé variantě.

$$\dot{q}_x = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (2.13)$$

kde

$\dot{q}_x$	[ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	měrný tepelný tok ve směru $x$
$\lambda$	[ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	tepelná vodivost

Z tohoto zákona lze odvodit vztahy pro různé typy povrchu. Pro přenos trubkovým vedením nám postačí definovat přenos tepla válcovou stěnou. Předpokladem je, že délka potrubí je mnohonásobně větší než jeho průměr. Plocha, kterou protéká tepelný tok je  $S = 2\pi \cdot r \cdot L$ . Tepelný tok protéká směrem kolmým na trubku a to ven z trubky, protože

zdroj tepla je uvnitř (horká voda, pára). Rovnice tepelného toku odvozená z Fourierova zákona vypadá ve tvaru (2.14):

$$\dot{Q} = \dot{q}_r \cdot S = -\lambda \frac{dT}{dr} \cdot 2\pi r L \quad (2.14)$$

Po integraci dostaneme upravený vztah pro tepelný tok válcovou stěnou:

$$\dot{Q} = \frac{2\pi \cdot L \cdot \lambda \cdot (T_i - T_o)}{\ln \frac{r_o}{r_i}} \quad (2.15)$$

kde

L	[m]	délka úseku
index i		vnitřní část (vnitřní teplota, průměr)
index o		vnější část (vnější teplota, průměr)

V případě **proudění** dochází jak ke kondukcí na povrchu, tak k advekci, což je kolektivní pohyb velkého množství molekul prostředím, které je omezeno povrchem (například průtok potrubím). Rychlost u povrchu je nulová, proto zde je dominantní přenos kondukcí. Ve volném proudu pak dominuje advekce. Bez ohledu na mechanismus tohoto proudění platí **Newtonův ochlazovací zákon** ve tvaru (2.16):

$$\dot{q} = \alpha(T_w - T_\infty) \quad (2.16)$$

kde

$\alpha$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	součinitel přestupu tepla
index w		povrch obtékaného tělesa
index $\infty$		místo dostatečně vzdálené od povrchu

Celkový prostup tepla válcovou stěnou pak v praxi počítáme s pomocí analogie s **Ohmovým zákonem**, kdy si charakteristické koeficienty nahradíme takzvaným tepelným odporem, který má podobné vlastnosti jako odpor elektrický. U reálného potrubí uvažujeme tedy proudění uvnitř – zdroj tepla. To je ohraničeno potrubím včetně izolace. Vně pak uvažujeme vzduch popřípadě zeminu. Celkový vztah je uveden v rovnici (2.17):

$$\dot{Q} = \frac{T_{in} - T_{out}}{\sum R} = \frac{T_{in} - T_{out}}{\frac{1}{2\pi L} \cdot \left( \frac{1}{r_1 \alpha_1} + \frac{1}{\lambda_p \cdot \ln \frac{r_p}{r_1}} + \frac{1}{\lambda_{iz} \cdot \ln \frac{r_{iz}}{r_p}} + \frac{1}{r_2 \alpha_2} \right)} \quad (2.17)$$

kde

index 1	vnitřní prostředí
index 2	vnější prostředí
index p	potrubí
index iz	izolace

Výpočet celkového tepelného toku (2.18) spočívá v nahrazení celkové sumy odporů celkovým **součinitelem prostupu tepla na jednotku délky**  $K_L$  (2.19). [14, 15, 16]

$$\dot{Q} = K_L L (T_{in} - T_{out}) \quad (2.18)$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{2\pi} \cdot \left( \frac{1}{r_1 \alpha_1} + \frac{1}{\lambda_p \cdot \ln \frac{r_p}{r_1}} + \frac{1}{\lambda_{iz} \cdot \ln \frac{r_{iz}}{r_p}} + \frac{1}{r_2 \alpha_2} \right)} \quad (2.19)$$

### 3 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV

Pro stanovení a dimenzování určitého zdroje je třeba znát energetickou náročnost objektu. Toto provádíme při projektování nové budovy nebo při rekonstrukci, kdy daný zdroj měníme a snažíme se o dosažení ekonomické návratnosti či o snížení ekologické zátěže. Skládá se z potřeby tepla v topné sezóně a potřeby chladu v letních měsících.

Při určení potřeby tepla zahrnujeme tepelnou ztrátu prostupem přes jednotlivé plochy a to stěny, okna, dveře, podlahy a stropy. Z toho plyne, že je závislá na použitých materiálech a přidávaném zateplení. Dále se do výpočtu zahrnuje potřeba výměny vzduchu – větrání. Zde musíme dbát hygienických norem.

#### 3.1 Přepočet ze zastavěného objemu na tepelnou ztrátu

Nejjednodušší metodou jak určit tepelnou ztrátu objektu je přepočet ze zastavěného objemu. Naměřený vytápěný objem budovy vynásobíme koeficientem měrné spotřeby tepla. Hodnotu tohoto koeficientu určuje materiál, typ a počet oken, těsnost oken, dveří nebo zateplení stěn.

Při zjednodušeném určování tepelné ztráty jsou přibližné hodnoty koeficientů k naleznutí ve Výpočtových tabulkách pro vytápění od dvojice autorů Laboutka, Suchánek. Při určování se standardně volí výměna vzduchu a to jedné poloviny z celkového objemu vzduchu za hodinu.

##### *Tepelná ztráta*

Je množství tepla, které objekt ztratí za jednotku času při určené venkovní výpočtové teplotě. Tato teplota je určena s pomocí Českého hydrometeorologického ústavu, na základě dlouhodobého měření teplot v daných lokalitách.

K určování tepelné ztráty nám sloužila norma ČSN 06 0210, ta je dnes nahrazena normou ČSN EN ISO 13790: *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení* – tato upravuje jak výpočet tepelné ztráty, tak i potřebu chladu pro budovy [18]. Na základě těchto norem jsou vytvořeny webové kalkulátory na webových stránkách například na serveru [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz).

##### *Roční potřeba tepla*

Množství tepelné energie potřebné k dosažení požadované teploty uvnitř objektu. Ke stanovení této hodnoty potřebujeme znát průměrnou teplotu v otopném období, počet dní otopného období a samozřejmě venkovní výpočtovou teplotu. Všechny tyto hodnoty jsou opět zaznamenávány za pomoci stanic ČHMÚ. [19]

Od roční potřeby tepla můžeme ještě odečíst tepelný zisk z vnitřních zdrojů a to například ze spotřebičů nebo od lidského zdroje nacházejících se v objektu.

### 3.2 Stanovení požadavku na chladicí výkon

V dnešní době ubývá komerčních a průmyslových objektů, které by nebyly v letních měsících patřičně klimatizovány. Tak jak roste komfort společnosti, tak roste i poptávka po chladicích zařízeních. Stabilní teploty v létě neudržíme samozřejmě pouze kvůli lidem ale také kvůli strojům, které mohou mít stanovenou záruku kvality provozních parametrů podle teploty prostředí. Příkladem jsou hlavně měřicí zařízení. Pro návrh vhodného systému proto potřebujeme znát chladicí výkon potřebný pro daný objekt. Ten získáme ze součtu vnitřních a vnějších tepelných zdrojů.

#### ***Tepelný příkon vnitřní [20]***

Pro stanovení chladicího výkonu potřebujeme znát tepelný zisk (příkon) budovy. Vnitřní zisk znamená, že se uvnitř objektu nachází samostatné zdroje tepla. Například:

- osoby nacházející se uvnitř
  - závisí na jejich činnosti (70 – 700 W/osoba) [20]
- světelné zářiče
- pracovní stroje v budově
- další přístroje

#### ***Tepelný příkon vnější***

Z venkovního prostředí, kdy se zdroj nachází vně budovy. Je to sluneční energie. Ta se do budovy dostává:

- radiací a konvekcí prosklených částí
  - můžeme snižovat stíněním
- konvekcí přes stěny a střechu
- větracím vzduchem

Při nejjednodušším stanovování chladicího výkonu je pro nás nejdůležitější velikost zastavěného objemu a prosklené plochy s rozlišením zeměpisných světových stran. Daný výpočet upravuje opět norma ČSN EN ISO 13790. A ke zjednodušeným kalkulátorům se opět dostaneme, jak bylo výše zmíněno, například na webu [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz).

Norma ČSN EN ISO 13790 mimo jiné přikazuje kromě již známé pravidelné kontroly topných soustav (kotlů) i pravidelné audity chladicích zařízení. [21]

## 4 ZÁKLADNÍ MOŽNOSTI CHLAZENÍ PRŮMYSLOVÝCH A KOMERČNÍCH OBJEKTŮ

Principem chlazení je odnímat teplo ochlazovaným látkám a to buď přímo chladivem, nebo pomocí dalšího okruhu s teplotonosnou látkou (přímé × nepřímé chlazení). V chladivu probíhají termodynamické změny – komprese, expanze, škrcení, sdílení tepla. Hlavní princip spočívá v kondenzaci (plyn → kapalina = dodání tepla do okolí) a ve vypařování (kapalina → plyn = odběr tepla z okolí).

Účinnost přeměny a tedy chlazení stanovuje tzv. chladicí faktor  $\varepsilon_{COP}$  (4.1).

$$\varepsilon_{COP} = \frac{Q_{chl}}{E} \quad (4.1)$$

kde

$Q_{chl}$	[W]	chladicí výkon
$E$	[W]	dodaná příkon do děje
$\varepsilon_{COP}$	[-]	chladicí faktor

Často používané systémy pro chlazení jsou kompresorové a s absorpčním oběhem.

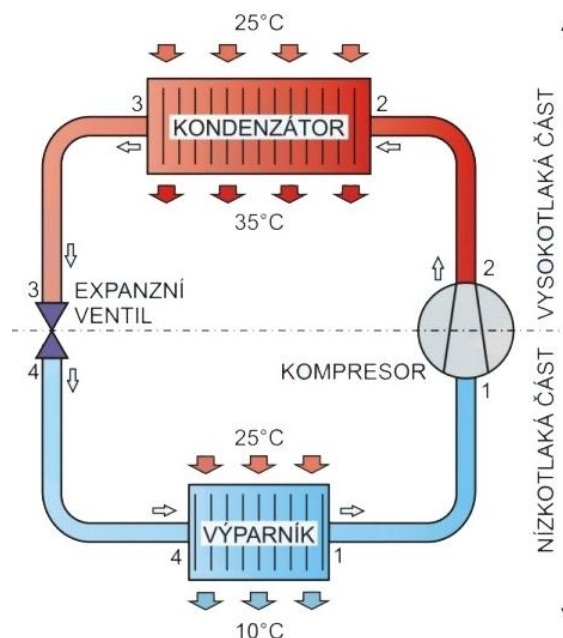
### 4.1 Kompresorové chlazení

Změnou tlaku dochází k přeměnám mezi skupenstvími za různých teplot. Základní části kompresorového chlazení:

- kompresor
- kondenzátor
- škrticí ventil
- výparník

Kompresor společně s ventilem dělí okruh na dvě tlakové části. Po stlačení v kompresoru putuje chladivo do kondenzátoru, kde odevzdá teplo do okolí a přemění se na kapalinu. Po snížení tlaku na škrticím ventilu putuje do výparníku, kde odebere výparné teplo z ochlazovaného okolí a odpařuje se.

Chladicí faktor je dán poměrem mezi odebraným teplem na výparníku a energií dodanou kompresoru.



Obr. 4.1 Princip kompresorového chlazení [22]

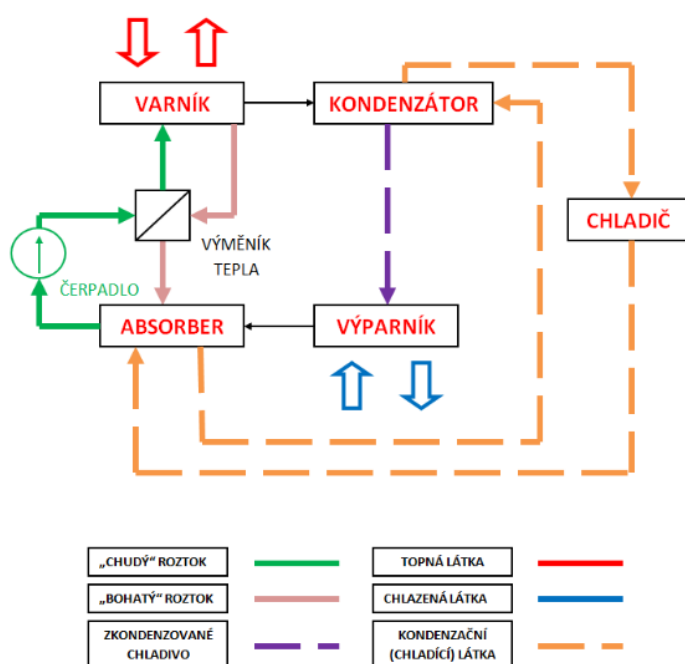


Výhody a nevýhody kompresorového chlazení:

- ✓ Možnost decentralizovaného zásobování chladem
- ✗ Velký výkon kompresoru v letních měsících – velká spotřeba elektrické energie
- ✗ Nevhodné pro trigeneraci

## 4.2 Chlazení s absorpčním oběhem

Spočívá v absorpci páry chladiva do absorbentu a k jejímu následnému vypuzování. I tento děj je cyklický. Namísto práce kompresoru se využívá nízkopotenciálního tepla například ve formě nízkotlaké páry. Elektrinou jsou napájena pouze oběhová čerpadla.



Obr. 4.2 Schéma absorpčního chlazení [23]

Nejčastěji se užívají zařízení jednostupňová.

Chladivo se vlivem odebrání tepla chlazené látky odpaří ve výparníku a dojde k jeho pohlcení v roztoku absorbentu. Bohatý absorbent je přečerpán do varníku (desorbér, generátor). Zde jsou z něj vypuzeny páry chladiva přívodem tepla. Chudý absorbent se vrací přes výměník tepla, kde se přehřeje, do absorbéru. Páry chladiva putují na kondenzátor. Zde jim je odebráno teplo – kondenzují. Kapalně, zkondenzované chladivo je vedeno zpět do výparníku. [23]

Výhody a nevýhody absorpčního chlazení:

- ✓ Nízké náklady na údržbu
- ✓ Možnost využití odpadního tepla
- ✓ Snadná regulace, vysoká životnost
- ✓ Nižší spotřeba elektrické energie (oproti kompresorovému)
- ✓ Bezhluchost
- ✗ Vyšší pořizovací náklady
- ✗ Větší rozměry a hmotnost
- ✗ Nižší chladicí faktor

### 4.3 Trigenerace

Jeden ze způsobů jak využít odpadního tepla je trigenerace. Spočívá ve využití části tepla produkovaného kogenerační jednotkou, tím se její možnost využití rozšiřuje i na letní měsíce. Získáme tím delší období využití a tím i více elektrické energie. Rozšířená jsou dvě provedení. První, kdy je použita teplovodní absorpční chladicí jednotka (Obr. 4.3). Tato varianta je vhodná pro objekty s potřebou tepla v zimě a chladu v létě. Výhoda v užití trojcestného ventilu spočívá v možnosti plynulé regulace mezi potřebou tepla a chladu. Spalinový výměník je součástí kogenerační jednotky.



**Obr. 4.3** Teplovodní absorpční jednotka [24]

Druhou variantou je užití spalínové absorpční chladicí jednotky (Obr. 4.4). Ta je vhodná pro objekty s celoroční souběžnou potřebou chladu a tepla. Vytápění je realizováno pouze pomocí topné vody z motorového okruhu. Spalinový výměník je součástí absorpční jednotky. [24]



**Obr. 4.4** Spalinová absorpční jednotka [24]

## 5 BRNĚNSKÝ VELETRŽNÍ AREÁL A JEHO ENERGETICKÉ ZÁSOBOVÁNÍ

Brněnský veletržní areál se nachází při levém břehu řeky Svatky, v městské části Brno-střed, na katastrálním území Pisárky. Byl vybudován v roce 1928, na půli cesty mezi městy Praha a Bratislava, jako symbol k 10. výročí vzniku Československé republiky.

Dnes má výstaviště čistou výstavní plochu o rozloze 130 000 m<sup>2</sup>. Řadí se na 23. místo ve světě. Majitelem areálu je akciová společnost Veletrhy Brno. Jediným vlastníkem této společnosti je nyní město Brno. Od roku 2000 je výstaviště průběžně modernizováno a díky tomu se nabízí také možnost řešení úprav ve prospěch zlepšení energetické závislosti.

Hlavní způsob využití areálu spočívá v pořádání veletrhů. Ročně se jich koná asi 50 a navštíví je téměř 1 milion návštěvníků. Mezi nejvýznamnější akce patří dlouhodobě mezinárodní strojírenský veletrh, který se koná každoročně na přelomu léta a podzimu, při němž se využijí prakticky všechny objekty. Mezi další akce patří kongresy, sportovní události, koncerty, společenské plesy nebo vrcholná setkávání politických organizací. [25]

Z důvodu různorodosti akcí a ročního využití se tedy budovy chovají jako komerční s vysokou návštěvou lidí a někdy částečně jako průmyslové s množstvím strojů a požadavkem na stabilní teplotu a některé budovy pak plní i funkci kanceláří, s méně častým provozem a pohybem osob, ale za to s celoročním nepřetržitým využitím.

### 5.1 Struktura a využití areálu

Jak bylo zmíněno výše, areál se skládá z několika objemných budov plnících funkci převážně výstavištní, některé jsou kombinované – jak výstavištní plocha tak menší části zahrnující kongresové sály, kanceláře, kinosály a další administrativní prostory. Poté zde nalezneme čistě administrativní budovy. Dále jsou zde zahrnuty i hospodářské dvory, kde sídlí řada soukromých subjektů.

Popis se týká budov spravovaných přímo vedením BVV. Některé soustavy objektů jsou zjednodušeny – například část hospodářský dvůr. Za zmínku stojí uvést, které větší budovy jsou z popisu vypuštěny. Jedná se především o halu D – ta je v soukromém vlastnictví a má vlastní připojení na teplotní soustavu, kongresové centrum – zde je BVV pouze v nájmu. Mezi další objekty nevlastněné BVV patří ještě obchodní komora a kongresová hala.

V následujících řádcích je podrobnější popis budov výstaviště, které jsou předmětem této práce. Popis je přesto velmi stručný, pro podrobnější informace by musela diplomová práce být vedena – na přání BVV – v neveřejném režimu. Přehledný výčet je zobrazen v tab. 5.1.

**Tab. 5.1** Objekty výstaviště a jejich tepelná ztráta

Objekt	Podlahová plocha [m <sup>2</sup> ]	Plocha ohraničující objem budovy A [m <sup>2</sup> ]	Vnější objem vytápěné zóny V [m <sup>3</sup> ]	Měrná tepelná ztráta prostupem [W/K]	Tepelná ztráta prostupem [kW]	Tepelná ztráta větráním [kW]	Celková tepelná ztráta objektu [kW]
Hala A	22 844	51 908	250 357	76 737	2 456	1 304	3 760
Hala B	16 094	25 626	162 488	33 026	1 057	846	1 903
Hala C	14 664	15 309	101 309	28 579	915	528	1 442
Hala E	24 581	25 159	122 132	31 020	993	636	1 629
Hala F	9 044	27 718	119 707	21 146	677	623	1 300
Hala G	17 614	41 549	146 717	33 043	1 057	764	1 822
Hala H	3 139	6 207	25 128	4 765	152	131	283
Hala P	25 202	49 374	306 855	18 995	608	1 598	2 206
Hala V	16 311	33 556	194 740	23 223	743	1 014	1 757
Hala Z	25 897	31 020	270 547	49 021	1 569	1 409	2 978
AB	5 523	5 802	18 988	7 227	231	99	330
Hala O	2 054	3 231	8 291	3 001	96	43	139
Brno	1 569	3 072	7 288	5 094	163	38	201
Morava	1 595	3 080	8 196	5 158	165	43	208
<b>Celkem</b>			<b>1 765 298</b>	<b>353 477</b>	<b>11 311</b>	<b>9 194</b>	<b>20 506</b>

### **Pavilon A**

Dominanta se dvěma křídly situovanými do hlavních os výstaviště, v průsečíku os se nachází rotunda. Budova se člení na části A1, A2, A3 a rotunda. V části A3 se nachází kancelářské prostory pro administrativu. Části A1 a A3 jsou připojeny do teplárenské soustavy, A2 a rotunda pak na plynový přívod s vlastními zdroji tepla. Přímou instalovaný chladicí výkon je 2 x 800 kW pro A1, A2. Rotunda a A3 2 x 216 kW.

### **Pavilon B**

Velkokapacitní hala až pro 3000 osob, postavena převážně jako velká průmyslová hala v době, kdy sílila poptávka po zvětšování výstavištní plochy. Nyní je opatřena dvojitým zasklením a zateplením stěn. Hala je napojena na CZT a instalovaný chladicí výkon je 1 363 kW.

### **Pavilon C**

Po obvodu čtyřpodlažní budova a uvnitř propojena ve velkou halu s prosklenou, kopulovitou střechou typickou pro výstavištní areál (užití také na pavilonech Y a Z). Budova je propojena průchozími tunely v komplexu A, B, C, E budov. Má povahu obchodního domu včetně užití eskalátorů. Užívána je také v mimoveletržním období právě pro svoji charakteristiku, kdy je takovým malým „samovýstavištěm“ pro prezentace jednotlivých firem. Napojena je na CZT a není chlazená.

### **Pavilon E**

Specifický, třípodlažní pavilon obsahující jak výstavištní plochu tak kongresové a divadelní sály. Výhodou je vlastní vstupní brána do pavilonu a napojení na hotelový komplex. Je napojena na CZT a instalovaný chladicí výkon je 1 469 kW.

### **Pavilon G**

Dvě podélné haly propojeny příčnou chodbou včetně vstupní haly a eskalátorů. S věží nad centrální částí. Může sloužit soukromým účelům s oddělenými druhy výstav nebo oddělenou kongresovou a restaurační částí. Je vytápěna teplovodním médiem z výměňkové stanice pavilonu V. Instalovaný chladicí výkon 2 x 1 010 kW.

### **Pavilon F**

Nová hala s prosklenými stěnami opatřenými zatemňovacím zařízením. Hala je multifunkční, vhodná k hudebním nebo sportovním akcím. Prostory je možné oddělovat, takže je vhodná i k jiným společenským akcím. Je napojena na CZT i na plynový přívod. Nainstalovaný chladicí výkon je 1 590 kW.

### **Hala H**

Starší jednoduchý objekt prosklený po obvodu kromě zavětrovacích stěn. Především k výstavním účelům. Napojený na vytápění z hospodářské komory. Budova není chlazená.

### **Pavilon P**

Nejmodernější, nejnovější a největší pavilon umístěný v zadní části výstaviště v blízkosti dominantního pavilonu Z. Součástí je i samostatná vstupní pokladna. Hala je uzpůsobena i pro nejtěžší exponáty. Prosklené části jsou opatřeny žaluziemi. V těsné blízkosti je dostatek parkovacích míst a výhodou je také připojení na převaděč z dálnice D1. Kapacita osob je až 10 000. Užití je možné pro velkokapacitní hudební produkce nebo jako výstavní, konferenční a kongresovou plochu. Je napojený na přívod plynu. Instalovaný chladicí výkon je 2 700 kW.

### **Pavilon V**

Nová moderní hala vystavěná na ose mezi pavilony A, Z. Využití je v pořádání velkých konferencí, společenských akcí jako jsou plesy a podobně. Okna opatřena žaluziemi. Opět uzpůsobena pro těžké exponáty (tak jako B a P). Napojena na CZT i na přívod plynu. Instalovaný chladicí výkon činí 1 675 kW.

### **Pavilon Y**

Sezónní pavilon s nižším využitím. Má typickou střešní kopuli. Vystavěn byl zejména k ověření tehdejších technických možností k výstavbě právě kulového vrchlíku jakožto střechy. Tato aplikace byla poté provedena ve větším měřítku na halách C a především Z. Pavilon se nevytápí ani nechladí.

### **Pavilon Z**

Architektonická dominant celého areálu. Jedná se o kruhový objekt o průměru 100 m a nejvyšší výškou 37 m. Vhodná pro společenská setkání, sportovní akce s návštěvností

přes 5 000 osob, nebo divadelní představení. Napojena je na přívod plynu. Chlazení nainstalované nemá.

### **Pavilon O**

Napojen na teplovod z hospodářské komory, instalovaný chladicí výkon je 36 kW.

### **Administrativní budova**

Výšková budova sloužící především jako sídlo administrativy ale také pro pořádání menších konferencí. Vytápěna je přívodem CZT. Instalovaný chladicí výkon je okolo 320 kW.

### **Pavilony Morava, Brno**

Pro menší firemní akce, vytápěny ze stanice AB. Nejsou chlazeny.

### **Haly K, M**

Nevytápěné a nechlazené objekty.

### **Kongresová hala**

V tomto objektu se nachází plynová kotelna ze které je vytápěna dále hala H, O a obchodní komora.

## **5.2 Využívání areálu**

Jak bylo výše zmíněno, využití areálu probíhá především nárazově. Počet dní, kdy se využívají jednotlivé budovy je různý, ale vzhledem ke každoročním stálým akcím například typu MSV – Mezinárodní strojírenský veletrh se dá předpokládat podobný průběh i v dalších letech. Dny, kdy jsou jednotlivé budovy využívány, jsou vypsány v tab. 5. Dále je připojena charakteristika využití v průběhu měsíců a to za rok 2016. Zdrojem je kancelář vedoucího energetiky BVV. Plánek areálu viz obr. 5.1.

**Tab. 5.2** Počet dní využití

Objekt	M ě s í c												2016	2015
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
A1	0	4	4	7	3	1	1	0	2	6	2	1	31	20
A2	0	4	0	4	1	0	0	0	0	6	2	0	17	16
Rotunda	0	1	2	10	6	4	1	0	8	8	4	2	46	47
B	1	0	6	4	2	1	0	0	0	6	4	2	26	23
C	0	0	0	4	0	0	0	0	0	6	2	0	12	8
E	3	1	6	11	9	1	0	0	12	15	7	5	70	64
F	4	6	6	8	0	0	5	3	0	8	2	10	52	60
G1	0	9	0	5	0	0	5	0	0	8	8	10	45	38
G2	1	2	3	5	0	0	0	0	0	8	9	2	30	21
H	0	0	0	0	19	5	0	0	0	0	0	0	24	7
P	6	7	6	8	2	4	0	3	2	6	5	2	51	41
V	2	4	6	9	0	3	5	0	0	6	2	0	37	45
Z	0	0	0	5	2	2	0	0	0	7	4	0	20	26

Obr. 5.1 Plánek areálu [26]





Mezi celoročně využívané patří objekty hospodářského dvora, budova A3 a administrativní budova. Zde se vytápí a chladí po celý rok. U ostatních objektů se vytápění spouští zpravidla 3 dny před samotnou akcí. Chlazení pouze ve dnech akce. Jinak jsou budovy temperovány. Vzhledem k nízkému využívání zde najdeme i objekty, které jsou temperovány pouze za velmi nízkých venkovních teplot. V tab. 5.3 je přehled spotřeb tepla a plynu za rok 2016. Spotřeba tepla je odečtena z jednotlivých měřicích stanic v areálu. Celková fakturovaná spotřeba je navýšena o hodnotu ztrát vedením.

$$\text{Celková roční spotřeba} = \text{Spotřeba tepla na vytápění} + \text{Roční ztráty vedení}$$

$$\text{Celková roční spotřeba} = 43\,333\text{ GJ} + 10\,901\text{ GJ} = 54\,234\text{ GJ}$$

V buňce administrativní budova je zahrnuto několik přilehlých objektů včetně vstupní brány a dalších prostor. V buňce kongresová hala pak spotřeba kotelny vytápějící další 3 objekty.

**Tab. 5.3** Spotřeby za rok 2016

Objekt	Spotřeba za rok 2016	
	Teplo	Plyn
	GJ	m <sup>3</sup>
A1	293	-
A2	-	26 604
Rotunda	-	50 069
B	5 231	-
C	589	-
E	5 579	-
F	1 942	15 014
G	3 985	-
Kong. h.	-	82 258
Brno	643	-
Morava	907	-
P	-	82 296
V	1 392	18 918
Z	-	17 966
HD1	4 820	-
HD2	13 749	-
Admin. b.	4 203	-
<b>Celkem</b>	<b>43 333</b>	<b>293 125</b>

### 5.3 Vytápění

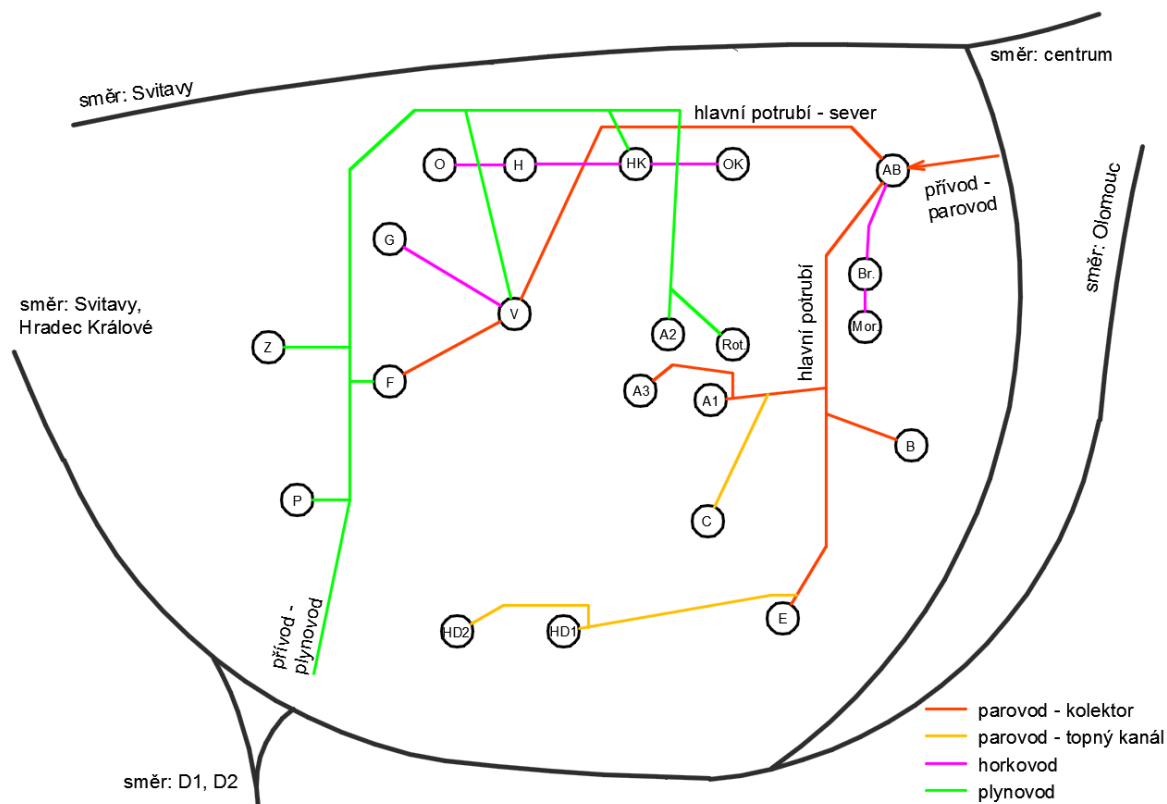
Objekty jsou vytápěny s ohledem na účel jejich využívání a to buď z rozvodu CZT nebo na bázi spalování plynu. Administrativní budovy jsou vytápěny pomocí teplovodního konvekčního způsobu. Velmi důležitá je regulace, která zohlední solární a tepelné zisky uvnitř administrativních prostor. Je prováděna termostatickými ventily nebo prostorovými termostaty. Klimatizování administrativních budov zajišťují lokální klimatizační jednotky a fan-coily.

Prostory výstavních hal jsou vytápěny teplovzdušně pomocí vzduchotechnických jednotek nebo teplovzdušných souprav. Kancelářské a servisní prostory některých pavilonů jsou vytápěny samostatným systémem – samostatným plynovým kotlem, napojením na teplovodní zdroj společný pro více budov apod. Některé VZT jednotky jsou vybaveny výměníky chladu pro klimatizování prostor v letních měsících.

Mnoho dalších objektů je vytápěno horkovodně, buď přímo ze společné výměníkové stanice – hospodářský dvůr, pavilony Morava, Brno, nebo ze společné plynové kotelny pro více objektů – pavilony G, H, O, Kongresová hala...

Na obr 5.2 je schematicky znázorněn areál včetně typů rozvodů.





Obr. 5.2 Schéma areálu včetně soustav jednotlivých sítí

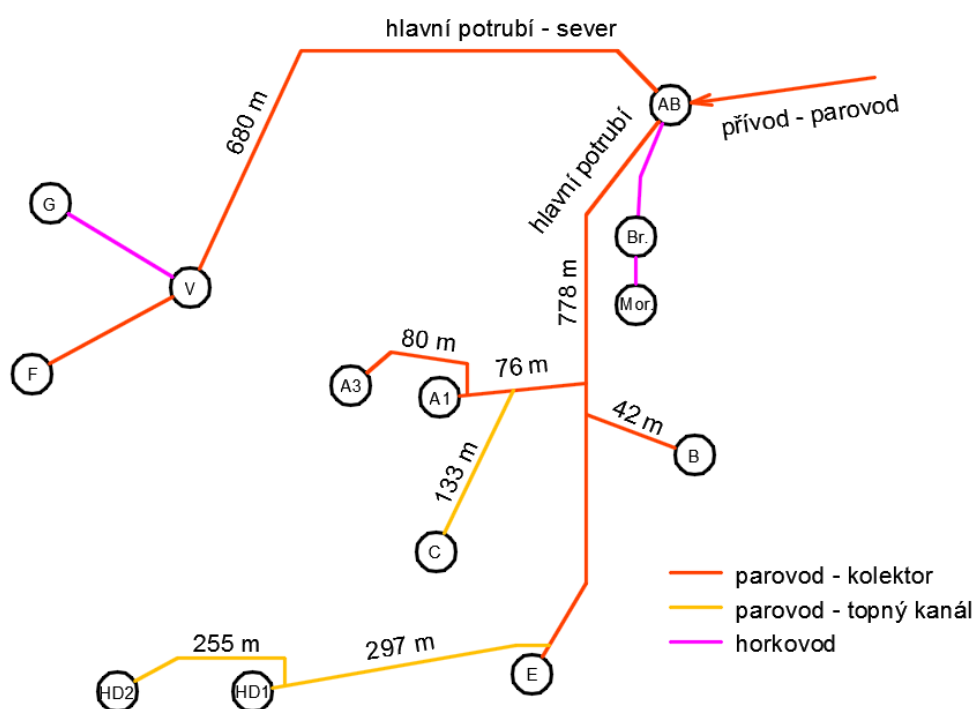
### 5.3.1 Parovod

Parovod je přiveden z městské přípojky společnosti Teplárny Brno, a.s. a to na hranici areálu v místech, kde se nachází administrativní budova (AB). Vedení je vesměs v podzemních kolektorech. Výjimku tvoří přípojka na pavilon C a spojnice E – HD1 a HD1 – HD2 tyto sou vedeny topným kanálem. Při AB se potrubí dělí na dvě větve, hlavní větev zásobuje pavilony A1, A3, B, C, E a dále hospodářský dvůr pod označením HD1 – 10 budov a HD2 – 11 budov.

Hospodářské dvory se využívají celoročně, nalezneme zde drobné podniky a řemeslníky. Například kovárna, sklářství, autodílny, fotoateliér a další dílny včetně hasičského sboru.

Druhá, severní větev zásobuje pavilony F a V – odtud vytápěno G. Přimo z AB je dále vytápěno horkovodem dalších 7 objektů včetně pavilonu Brno a Morava. Schéma rozvodu páry je na obr. 5.3. V letních měsících se úplně vypíná větev „hlavní potrubí – sever“. Údaje byly poskytnuty energetickým odborem BVV.

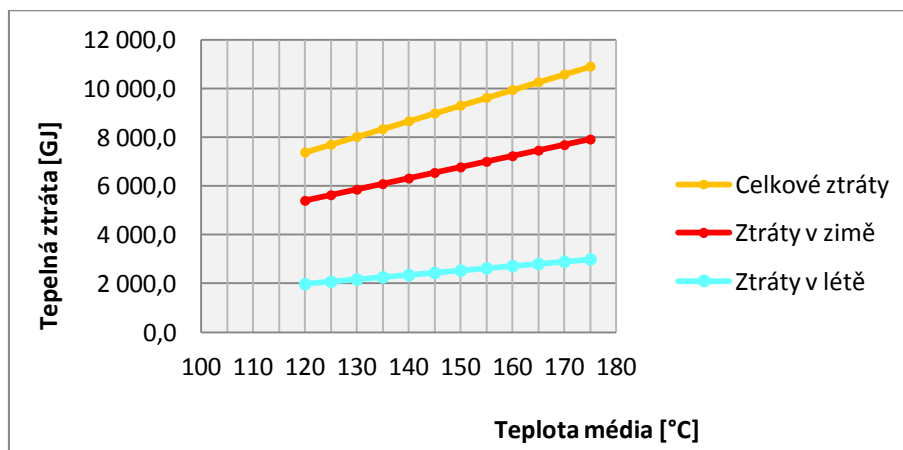
Parovodem přichází pára o teplotě 165 °C a odchází kondenzát o teplotě 60 °C. Od toho se odvíjí také tepelné ztráty potrubí.



**Obr. 5.3** Objekty zásobované teplem

Bližší informace o jednotlivých úsecích včetně průměrů a tepelných ztrát jsou v tab. 5.4 pro zimní období a 5.5 pro letní období. Zimní období je stanoveno na 235 dní. Letní na 130 dní.

Tepelné ztráty jsou závislé na rozdílu teploty proudícího média a teploty okolí parovodu. Pokud bude klesat teplota páry, bude klesat i ztráta vedením. Na obr. 5.4 vidíme průběh této závislosti. Hodnoty ročních ztrát jsou uvedeny v tab. 5.6.



**Obr. 5.4** Průběh tepelných ztrát

**Tab. 5.4** Přehled tepelných ztrát potrubí v zimě

Z i m a

Úsek	Délka	Vnější průměr potrubí	Průměrná teplota v potrubí	Teplota okolí	Tloušťka izolace	Materiál izolace	Lineární tepelná ztráta	Tepelná ztráta potrubí	Doba provozu	Celková ztráta	
	$l$	$D_e$	$t$	$t$	$s$	$\lambda_{iz}$	$k_l$	$P$	$\tau$	$P_c$	
	$m$	$mm$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$mm$	$W/(m^2.K)$	$W/m$	$W$	$dny$	$GJ/rok$	
Přívod páry	Hlavní potrubí	778	323,9	175	25	100	0,08	142	142 421	235	2 891,7
	Hlavní potrubí sever	680	219	175	25	100	0,08	106	92 342	235	1 874,9
	Odbočka A1	76	159	175	25	100	0,08	84	8 231	235	167,1
	Odbočka A3	80	159	175	25	100	0,08	84	8 664	235	175,9
	Odbočka Pavilon C	133	159	175	30	100	0,08	81	13 924	235	282,7
	Odbočka Pavilon B	42	114,3	175	25	100	0,08	68	3 668	235	74,5
	Odbočka E - HD1	297	219	175	30	100	0,08	102	38 987	235	791,6
	Odbočka HD1 - HD2	255	159	175	30	100	0,08	81	26 697	235	542,1
Odvod kondenzátu	Hlavní potrubí	778	88,9	60	25	50	0,08	19	19 468	235	395,3
	Hlavní potrubí sever	680	88,9	60	25	50	0,08	19	17 015	235	345,5
	Odbočka A1	76	76,1	60	25	50	0,08	17	1 710	235	34,7
	Odbočka A3	80	76,1	60	25	50	0,08	17	1 800	235	36,5
	Odbočka Pavilon C	133	76,1	60	30	50	0,08	15	2 566	235	52,1
	Odbočka Pavilon B	42	60,3	60	25	50	0,08	17	813	235	16,5
	Odbočka E - HD1	297	88,9	60	30	50	0,08	15	6 370	235	129,3
	Odbočka HD1 - HD2	255	76,1	60	30	50	0,08	15	4 919	235	99,9
Celkem										7 910,3	

**Tab. 5.5** Přehled tepelných ztrát v potrubí v létě

L é t o

Úsek		Délka	Vnější průměr potrubí	Průměrná teplota v potrubí	Teplota okolí	Tloušťka izolace	Materiál izolace	Lineární tepelná ztráta	Tepelná ztráta potrubí	Doba provozu	Celková ztráta
		$l$	$D_e$	$t$	$t$	$s$	$\lambda_{iz}$	$k_l$	$P$	$\tau$	$P_c$
		$m$	$mm$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$mm$	$W/(m^2.K)$	$W/m$	$W$	$dny$	$GJ/rok$
Přívod páry	Hlavní potrubí	778	323,9	175	30	100	0,08	138	137 674	130	1 546,4
	Hlavní potrubí sever	680	219	175	30	100	0,08	102	89 263	0	0,0
	Odbočka A1	76	159	175	30	100	0,08	81	7 957	130	89,4
	Odbočka A3	80	159	175	30	100	0,08	81	8 379	130	94,1
	Odbočka Pavilon C	133	159	175	35	100	0,08	79	13 444	130	151,0
	Odbočka Pavilon B	42	114,3	175	30	100	0,08	66	3 546	130	39,8
	Odbočka E - HD1	297	219	175	35	100	0,08	99	37 643	130	422,8
	Odbočka HD1 - HD2	255	159	175	35	100	0,08	79	25 776	130	289,5
Odvod kondenzátu	Hlavní potrubí	778	88,9	60	30	50	0,08	17	16 587	130	186,3
	Hlavní potrubí sever	680	88,9	60	30	50	0,08	17	14 585	0	0,0
	Odbočka A1	76	76,1	60	30	50	0,08	15	1 466	130	16,5
	Odbočka A3	80	76,1	60	30	50	0,08	15	1 543	130	17,3
	Odbočka Pavilon C	133	76,1	60	35	50	0,08	12	2 138	130	24,0
	Odbočka Pavilon B	42	60,3	60	30	50	0,08	13	697	130	7,8
	Odbočka E - HD1	297	88,9	60	35	50	0,08	14	5 308	130	59,6
	Odbočka HD1 - HD2	255	76,1	60	35	50	0,08	12	4 099	130	46,0
Celkem											<b>2 990,6</b>
Celková roční ztráta:											<b>10 900,9</b>

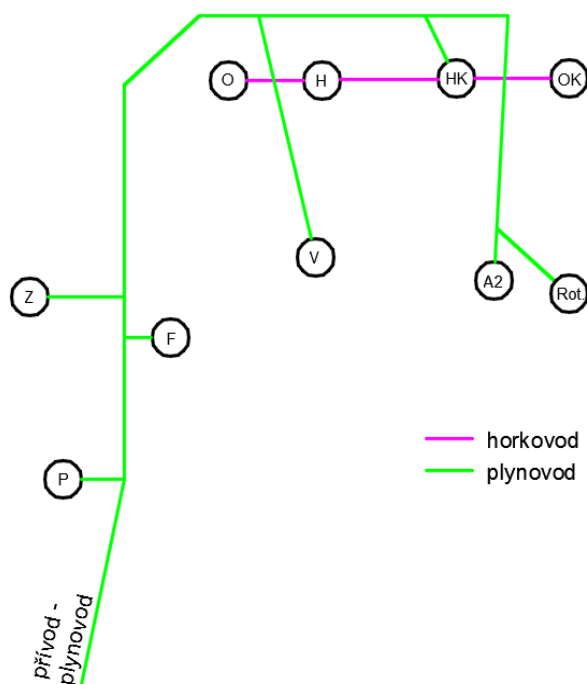
**Tab. 5.6** Závislost tepelných ztrát v parovodu

Ztráty [GJ·rok <sup>-1</sup> ]	Teplota páry [°C]						
	175	170	160	150	140	130	120
Zima	7 910	7 682	7 225	6 768	6 311	5 853	5 396
Léto	2 991	2 899	2 715	2 531	2 348	2 164	1 980
<b>Celkem</b>	<b>10 901</b>	<b>10 581</b>	<b>9 940</b>	<b>9 299</b>	<b>8 658</b>	<b>8 017</b>	<b>7 377</b>

### 5.3.2 Plynovod

Plyn je přiváděn do areálu od vstupní brány číslo 7. Zásobuje haly P, F, Z, a V. Odtud vede do objektu hospodářské komory a na objekty A2 a rotunda. Například z kotelny umístěné v hospodářské komoře vede teplovodní topení do objektů O, H, hospodářská komora a obchodní komora. Rozvod plynu je znázorněn na obr 5.5.

Mezi zdroje tepla v těchto objektech patří: plynové kotle, samostatné teplovodní agregáty a hořáky vzduchotechnických jednotek. Součet tepelného výkonu instalovaných plynových zdrojů se pohybuje okolo 15 MW.



**Obr. 5.5** Objekty vytápěné plynem

Spotřebiče s nejvyšším výkonem:

- plynová vzduchotechnická jednotka v pavilonu P
- další plynové kotle v pavilonech P a (300 – 580 kW)
- agregáty v pavilonu A2 a v rotundě (6 × 200 kW, 2 × 320 kW)

Regulace probíhá ekvitermně – teplota topné vody se řídí venkovní teplotou a je nastavována a kontrolována zaměstnanci BVV.

## 5.4 Chlazení

**Tab. 5.7** Instalované výkony

Objekt	Instalovaný chladicí výkon [kW]
Hala A	2032
Hala B	1363
Hala E	1469
Hala F	1590
Hala G	2020
Hala P	2700
Hala V	1675
Admin. B.	690
Hala O	108

Mezi prostory, které jsou klimatizovány pravidelně, patří prostory administrativní budovy a budovy A3. Můžeme mezi ně zahrnout i knihovnu v objektu O. Dále, s menším využitím sály v pavilonu E. Ostatní pavilony, které jsou opatřeny klimatizačními jednotkami, jsou chlazeny pouze nárazově. Důležitou součástí novějších pavilonů P, F a V jsou zatemňovací žaluzie. Tyto žaluzie by bylo vhodné nainstalovat například také u objektu G. Instalované výkony chlazení v tab. 5.7.

Chladicí jednotky fungují na principu elektrického, kompresorového. Jednotky ve většině objektů jsou ve své druhé polovině životnosti. V dohledné době budou tedy modernizovány i s možností využití jiných typů chladiv.

## 5.5 Energetická bilance areálu

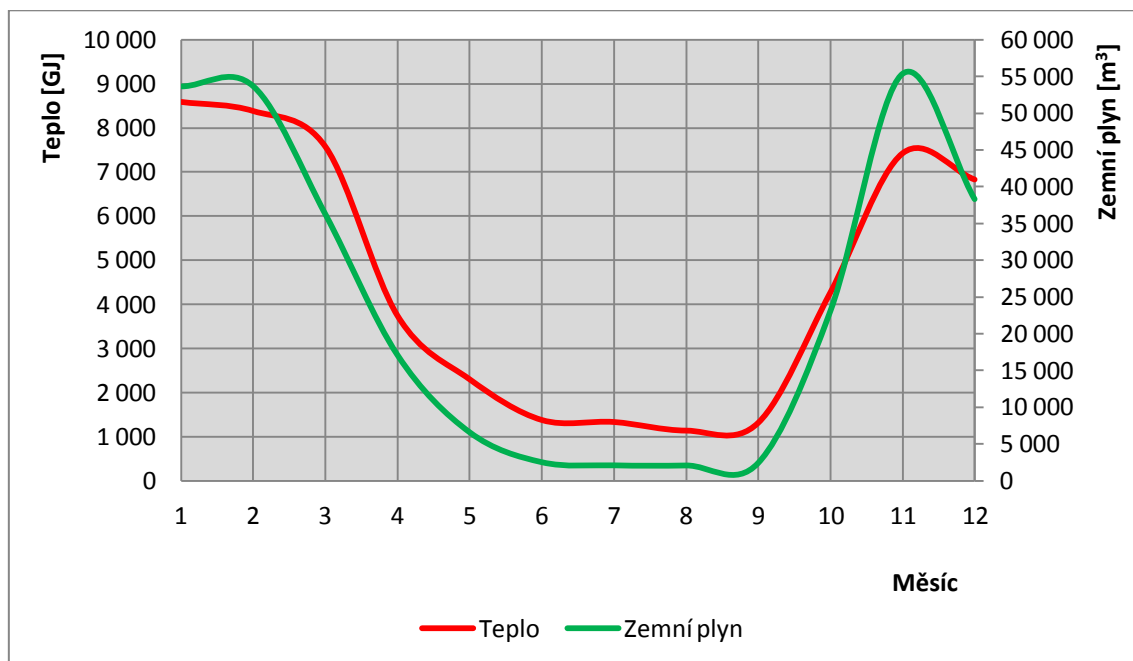
Hlavními nosiči energie v areálu jsou teplo, zemní plyn a elektrická energie. Roční vývoj spotřeby za rok 2015 nalezneme v tab. 5.8. Zde jsou uvedeny jednotkové ceny, ze kterých je vycházeno (dle podkladů energetiky BVV a [27]):

- teplo 464 Kč/GJ
- zemní plyn 10 Kč/m<sup>3</sup>
- elektrická energie 2,5 Kč/kWh

**Tab. 5.8** Spotřeba a cena energií v jednotlivých měsících

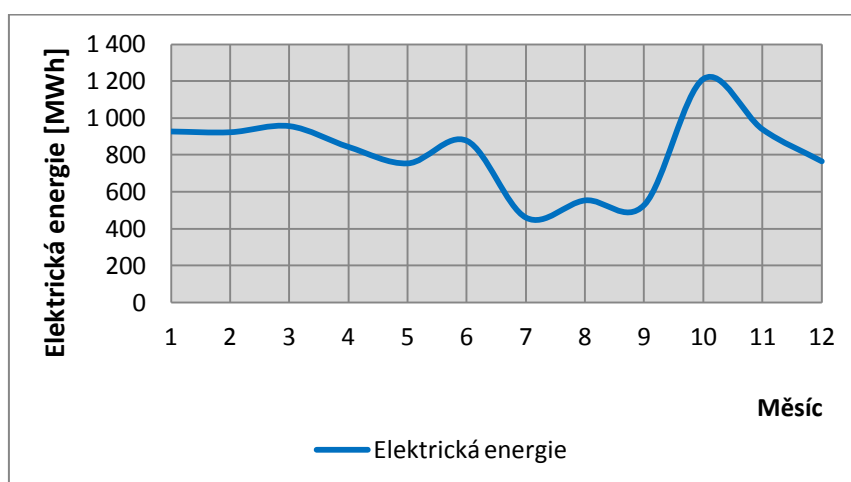
Měsíc	Teplo		Zemní plyn		Elektrická energie	
	GJ	Kč 464 Kč/GJ	m <sup>3</sup>	Kč 10 Kč/m <sup>3</sup>	MWh	Kč 2,5 Kč/kWh
Leden	8 582	3 982 126	53 631	536 308	928	2 320 000
Únor	8 376	3 886 325	53 641	536 406	924	2 310 000
Březen	7 566	3 510 450	36 213	362 126	957	2 392 500
Duben	3 735	1 733 229	17 085	170 846	844	2 110 000
Květen	2 299	1 066 528	6 603	66 029	755	1 887 500
Červen	1 379	639 819	2 545	25 454	877	2 192 500
Červenec	1 334	618 801	2 121	21 206	460	1 150 000
Srpen	1 139	528 376	2 104	21 040	554	1 385 000
Září	1 317	610 980	2 451	24 505	530	1 325 000
Říjen	4 265	1 979 088	23 092	230 918	1 214	3 035 000
Listopad	7 418	3 442 020	55 337	553 369	939	2 347 500
Prosinec	6 825	3 166 834	38 304	383 044	766	1 915 000
<b>CELKEM</b>	<b>54 234</b>	<b>25 164 576</b>	<b>293 125</b>	<b>2 931 250</b>	<b>9 748</b>	<b>24 370 000</b>

Graficky je na obr. 5.6 a 5.7 znázorněn roční průběh spotřeb.



**Obr. 5.6** Spotřeba tepla a zemního plynu 2015

Z ročního přehledu vidíme podobnost průběhů spotřeb tepla a zemního plynu. Naopak odlišný je průběh spotřeby elektrické energie, který kolísá po celý rok, v červnu pak nárůstá vzhledem k nárůstu potřeby klimatizace. Spotřeba v červenci a srpnu vzhledem k nízkému využití opět poklesne. Velkou spotřebu v říjnu si vysvětlují, i na základě tab. 5.2, především konáním mezinárodního strojírenského veletrhu. Spotřeba elektrické energie je nejvyšší na technologické účely. Pod tím máme na mysli především provoz klimatizačních jednotek ale také provoz administrativy, a režijní spotřebu během konání výstav.



**Obr. 5.7** Spotřeba elektrické energie 2015

V tab. 5.9 je rozložení energie dle jejího využití. Zobrazení je provedeno procentuálně na základě podkladů z minulých let a následně přepočteno na bilance z roku 2015. Položka prodej udává, kolik energie se prodává soukromým subjektům například v hospodářském dvoře. Toto rozdělení je nezbytné pro další možné realizace úprav v oblasti zásobování energií.

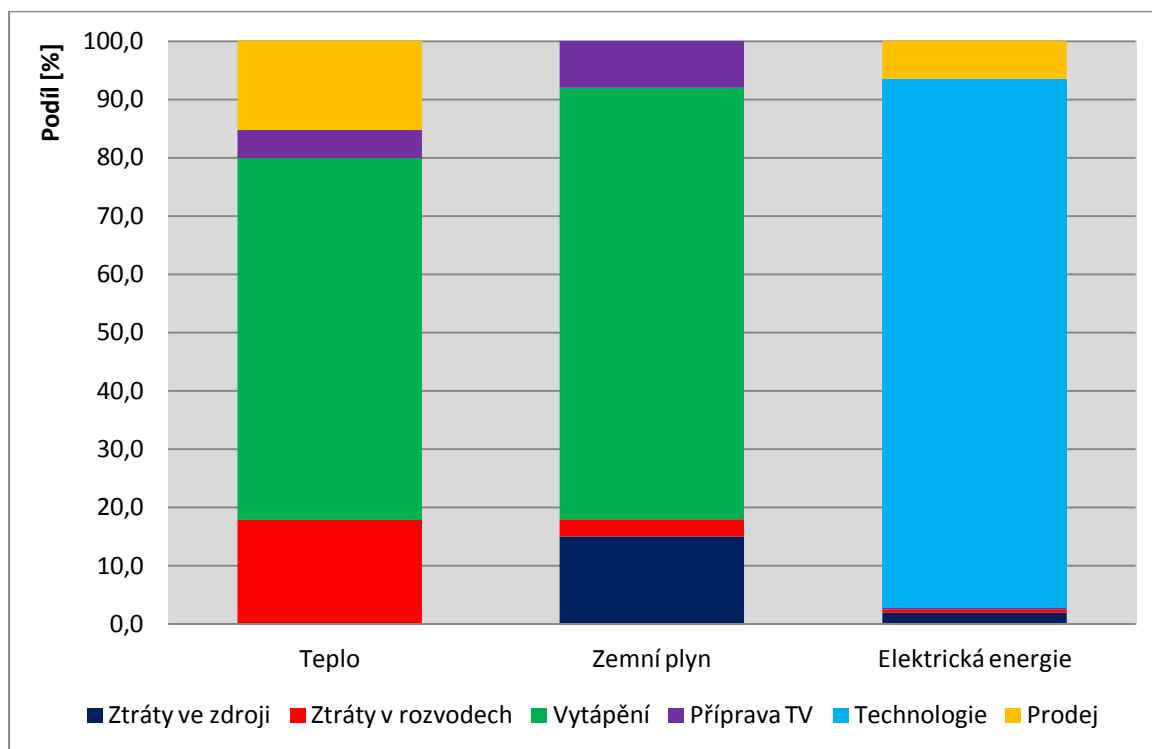
**Tab. 5.9** Využití energie

Energie		Podíl %	Jednotka		
			GJ	MWh	m <sup>3</sup>
Teplo	Ztráty ve zdroji	0,0	0	0	0
	Ztráty v rozvodech	17,9	11 164	3 101	311 241
	Vytápění	62,0	38 670	10 742	1 078 043
	Příprava TV	4,9	3 056	849	85 200
	Technologie	0,0	0	0	0
	Prodej	15,2	9 480	2 633	264 294
	<b>Celkem</b>	<b>100,0</b>	<b>62 370</b>	<b>17 325</b>	<b>1 738 779</b>
Zemní plyn	Ztráty ve zdroji	15,0	1 577	438	43 969
	Ztráty v rozvodech	3,0	315	88	8 794
	Vytápění	74,0	7 780	2 161	216 913
	Příprava TV	8,0	841	234	23 450
	Technologie	0,0	0	0	0
	Prodej	0,0	0	0	0
	<b>Celkem</b>	<b>100,0</b>	<b>10 514</b>	<b>2 920</b>	<b>293 125</b>
Elektrická energie	Ztráty ve zdroji	2,0	747	207	20 825
	Ztráty v rozvodech	0,5	187	52	5 206
	Vytápění	0,0	0	0	0
	Příprava TV	0,3	112	31	3 124
	Technologie	90,8	33 913	9 418	945 454
	Prodej	6,4	2 390	664	66 640
	<b>Celkem</b>	<b>100,0</b>	<b>37 350</b>	<b>10 372</b>	<b>1 041 248</b>

V jednotlivých sloupcích je daný druh energie vždy ve stejných jednotkách pro snazší porovnávání. Podíly účelu využití energií z tab. 5.9 jsou graficky zpracovány v grafu na obr. 5.8.

Spotřeba elektrické energie na technologické účely zahrnuje celoroční provozní spotřebu administrativních budov a krátkodobou spotřebu výstavních hal.





**Obr. 5.8** Podíl využití spotřebovávané energie

Z obr. 5.8 vidíme například, podobnost ztrát co se týká užívání parovodu i spalování zemního plynu. Je zde rozdíl pouze v tom, že ztráty v parovodu pocházejí z rozvodů a ztráty při spotřebovávání zemního plynu jsou převážně ze zdroje. To je způsobeno pravděpodobně díky některým starším VZT jednotkám v pavilonech. Prodej energií probíhá subjektům, které jsou uvnitř areálu v pronájmu.

V dřívější době dosahovala spotřeba především na straně tepla až k hodnotám okolo 100 TJ. Bylo to především z důvodu vyššího využívání areálu a také vlivem menšího podílu plynového zdroje na vytápění.

## 5.6 Využití odpadního tepla

V rámci výstaviště jsou jako zdroj odpadního tepla VZT jednotky bez rekuperace a dále zdroje chladu. Jediným pavilonem, kde nejsou instalovány jednotky s rekuperací, je pavilon G. Jednotky se nachází pod úrovní terénu. Možnost instalace rekuperace by byla nákladná z důvodu jejich umístění a předpokládaná návratnost dle energetického auditu BVV by byla vyšší než 8 let.

Odpadní teplo ze zdrojů chladu, vzhledem k ročnímu průběhu vytížení areálu, které nekoresponduje s potřebou TV, je jako zdroj nevhodné.

## 6 NÁVRH ÚPRAV TEPELNÉHO HOSPODÁŘSTVÍ

V této a následujících kapitolách budou uvedeny možnosti úprav tepelného hospodářství. Bude navrženo nové zařízení, dopad na skladbu energetických spotřeb a vyčíslena roční úspora včetně prosté doby návratnosti. V poslední kapitole vybereme vhodnou možnost a doplníme ji o výpočet diskontovaného toku peněz z pohledu projektanta.

### 6.1 Úvodní analýza

V úvodu si vyhodnotíme současné náklady na energie. Poté provedeme orientační výpočet pro tzv. jednosložkové zásobování a stanovíme návrhy na úpravy.

#### 6.1.1 Reálné náklady na energie

Nyní vezmeme jednotlivé položky přesně dle jejich spotřeby a zjistíme celkovou cenu. Spotřeba tepla, mimo prodané jednotky soukromým subjektům činila 52 890 GJ. Spotřeba plynu 293 125 m<sup>3</sup> a elektrické energie 9 708 MWh. Roční náklady tedy jsou:

• Teplo	464	Kč/GJ	52 890	GJ	24 540 960 Kč
• Zemní plyn	10	Kč/m <sup>3</sup>	293 125	m <sup>3</sup>	2 931 250 Kč
• Elektrická energie	2,50	Kč/kWh	9 708 000	kWh	24 270 000 Kč
• <b>CELKEM</b>					<b>51 742 210 Kč</b>

#### 6.1.2 Cena za případné jednosložkové zásobování teplem

Když vezmeme spotřeby tepla a zemního plynu loňského roku, včetně ztrát, sečteme a vynásobíme cenou za jednotku, dostaneme základní představu finanční náročnosti obou možností vytápění.

Spotřeba areálu na vytápění, přípravu TV a ztráty v rozvodech i ve zdrojích mimo elektrické energie činila 63 516 GJ. To odpovídá 1 770 733 m<sup>3</sup> plynu. Rozdíl ve ztrátách je dle obr. 5.8 minimální, proto můžeme počítat stejné množství energií. Pokud vezmeme orientační ceny k roku 2017, dostaneme:

• Teplo	464	Kč/GJ	63 516	GJ	29 471 424 Kč
• Zemní plyn	10	Kč/m <sup>3</sup>	1 770 733	m <sup>3</sup>	17 707 330 Kč

Poznámka: Cena za teplo je z dostupného ceníku firmy Teplárny Brno, a. s. Skutečná cena je dána smluvně. Ceny za zemní plyn a elektrickou energii jsou také smluvního charakteru a jsou orientačně poskytnuty energetickým odborem BVV. Jedná se o ceny pro odběratele velkých výkonů. Pro přesnější hodnoty by bylo nutné tuto práci vést v utajeném režimu.

Zhodnocení možnosti vytápění pouze plynem:

• Zemní plyn	10	Kč/m <sup>3</sup>	1 770 733	m <sup>3</sup>	17 707 330 Kč
• Elektrická energie	2,50	Kč/kWh	9 708 000	kWh	24 270 000 Kč
• <b>CELKEM</b>					<b>41 977 330 Kč</b>

Z porovnání cen vyplývá, jakým směrem by mělo být uvažováno při navrhování a realizování úsporně-energetických opatření. Cena plynu dosahuje okolo poloviny ceny tepla dodávaného z tepláren. Pokud se na zásobování podíváme také z pohledu celoročního vytížení, vidíme, že zajišťovat celoroční dodávky tepla pro areál, kde je nárazové a krátkodobé využití objektů, může být nevýhodné z důvodu platby za stálý příkon páry.

**Musíme však uvažovat investiční náklady na pořízení zařízení, spalující zemní plyn.**

Nabízí se odpojení areálu od zásobování teplem. To by však znamenalo velké investiční náklady a musel by být vysloven souhlas vedení města Brna. To je nereálné z hlediska dlouhodobé energetické strategie města Brna a jeho územního plánování a rozvoje. Značným kompromisem je tedy odpojování větve „hlavní přívod – sever“ v letních měsících.

### 6.1.3 Možné návrhy

Vysoká spotřeba elektrické energie nás navádí k vyprojektování plynové kogenerační jednotky, která by pokrývala část spotřeby elektrické energie, a produkované teplo by bylo užito na vytápění vhodných prostor. Spotřeba tepla včetně ztrát dlouhého potrubí, které vede k objektům HD nás přivedlo k úvaze odpojit výměňkové stanice HD1 a HD2 a nahradit je KJ nebo plynovými kotelny. Rozvody uvnitř těchto dvorů by zůstaly zachovány. Úpravy jsou možné i z hlediska zásobování TV. Na závěr se ještě pozastavíme nad alternativním zdrojem – pokusíme se krýt část spotřeby elektrické energie fotovoltaikou. Tu by bylo vhodné umístit na střechy některých pavilonů.

## 6.2 Posouzení přechodu CZT z páry na horkou vodu

V současné době provádí společnost Teplárny Brno, a. s. přechod z páry na horkou vodu. To přináší instalaci horkovodního potrubí na území města. Pokud se nevyskytnou komplikace, kompletní přechod by měl být dokončen v roce 2020. Nainstalováno je již 122 km horkovodu, zbývá stále ještě 57 km parovodu.

Garantované parametry parovodu a horkovodu na prahu výstaviště jsou v tab. 6.1.

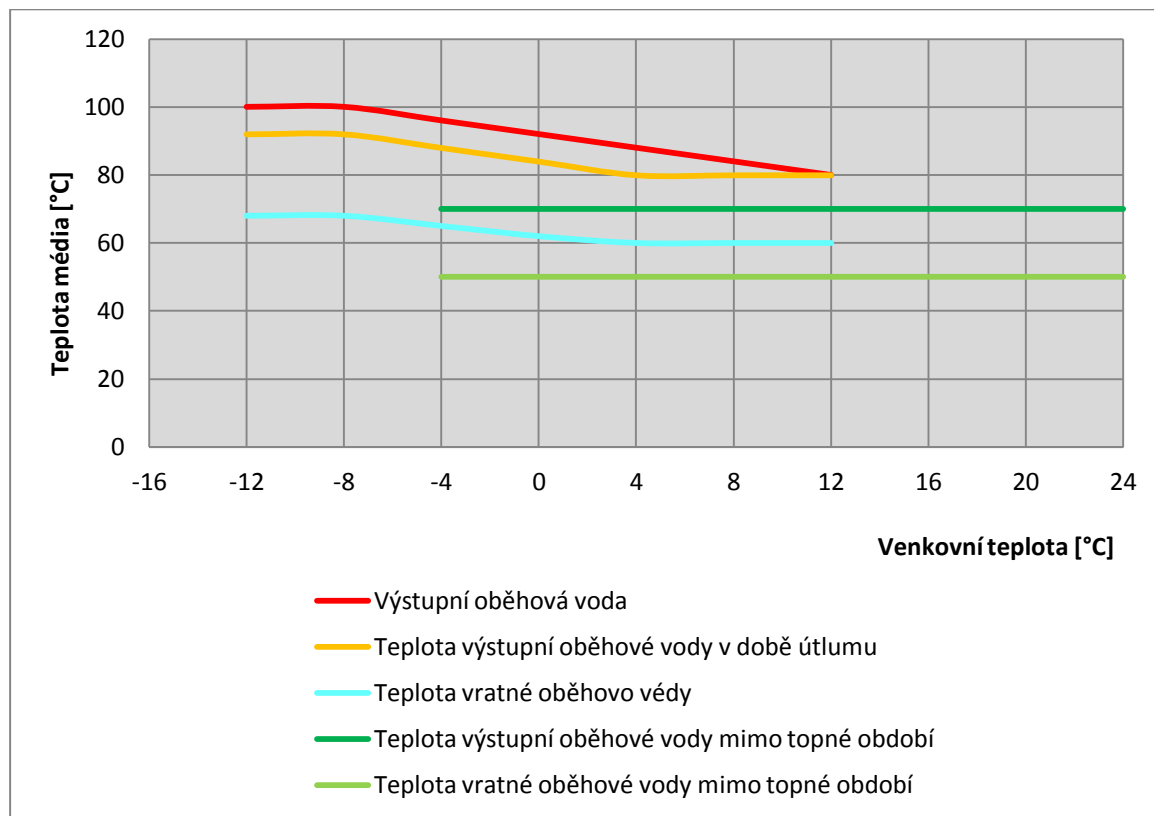
**Tab. 6.1** Parametry sítě (- 12 °C)

	parovod pára/kondenzát	horkovod voda/voda
přívod	175 °C	100 °C
odvod	60 °C	68 °C

Oproti parovodu by měly tepelné ztráty poklesnout. To přinese úspory na straně výroby, ceny pro spotřebitele ale i snížení emisí CO<sub>2</sub>. Každý vyměněný kilometr znamená méně CO<sub>2</sub> o 336 t ročně. [28, 29]

### 6.2.1 Horkovod

Základní parametry vychází z venkovní výpočtové teploty. Ta je pro Brno – 12 °C. Dodávky jsou na této teplotě závislé. Podle reálné venkovní teploty probíhá ekvitermní regulace. Bližší průběh teplot dodávaného média popisuje ekvitermní křivka na obr. 6.2.



Obr. 6.2 Ekvitermní křivky oběhové vody [28]

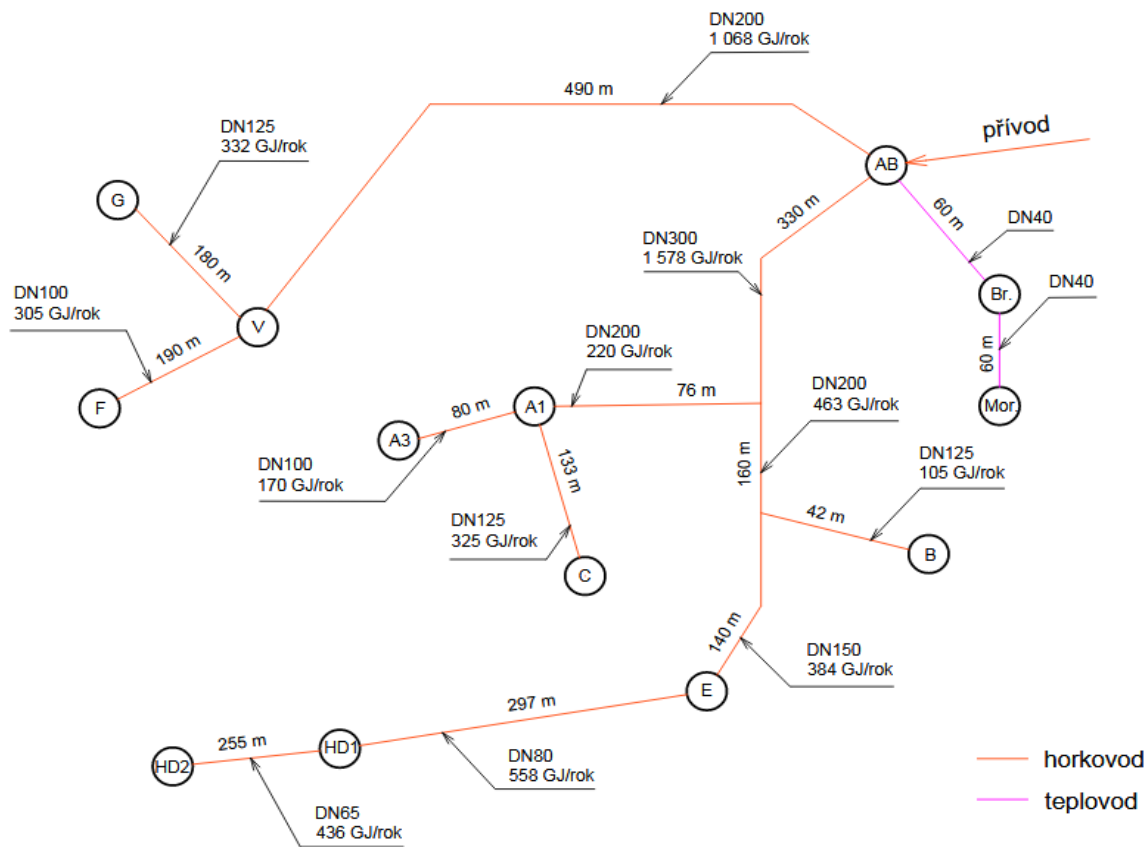
Výstupní teplota je řízena na základě venkovní teploty a předpovědi počasí. Doba útlumu je v rozmezí 22:00 – 6:00 hod. Teplota na přívodu do VS se může lišit o +10 °C až -5 °C. [28]

Co se týká nákladů na instalaci nového potrubí, velmi hrubý odhad tepláren je, při současných cenách, podmínkách a inženýrských požadavcích soukromého subjektu, cena za 1 m nově uloženého vedení okolo 10 000 Kč. Z tab. 3.4 sečteme tedy celkovou délku vedení parovodu, poté zjistíme velmi hrubý odhad ceny na výměnu vedení. Celková délka potrubí je 2 341 m (přívod + zpátečka) a cena výměny tedy vychází na 23 410 000 Kč.

### 6.2.2 Tepelné ztráty potrubí v areálu

Na základě rovnic 2.1 a 2.12 bylo, pomocí zadaných teplot a známých tepelných ztrát budov, stanoveno nové potrubí (obr 6.3). Ztráty jsou vypočteny na základě vstupních parametrů, které byly dodány vystavištěm. Hodnoty teplot horkovodu byly dodány

teplárnami. Další vstupní hodnoty:  $\lambda_t = 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_e = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . Nové vypočtené tepelné ztráty jsou v zimě 4 899 GJ, v létě 1 046 GJ a celkem tedy **5 945,6 GJ** ročně.



**Obr. 6.3** Varianta nového horkovodu

Z obrázku můžeme na odkazové čáře vyčíst označení potrubí, ve druhém řádku vždy roční ztrátu v GJ za rok a na spojnicích objektů jsou délky jednotlivých úseků. Například vidíme, že ztráty v celoročně využívaných hospodářských dvorech jsou okolo 1 000 GJ za rok. Zde je potenciál pro případné změny protože to jsou z velké části soukromé subjekty nepatřící BVV, a. s. Také se nachází na okraji sítě, tím by nedošlo k odpojení jiných objektů. Další charakteristiky potrubí jsou k nalezení v tab. 6.2 a 6.3.

**Tab. 6.3** Přehled tepelných ztrát v potrubí v zimě

Úsek		Délka	Vnější průměr potrubí	Tloušťka trubky	Průměrná teplota	Teplota okolí	Tloušťka izolace	Materiál izolace	Tepelná ztráta potrubí	Doba provozu	Celková ztráta
		$l$	$D_e$	$t$	$t$	$t$	$s$	$\lambda_{iz}$	$P$	$\tau$	$P_c$
		$m$	$mm$	$mm$	°C	°C	$mm$	$W/(m^2.K)$	$W$	$dny$	$GJ/rok$
Přívod	Úsek AB - A	330	324	8	100	25	100	0,08	30 218	235	613,5
	Úsek A - B	160	219	6,3	100	25	100	0,08	10 915	235	221,6
	Úsek B - E	140	159	4,5	100	25	100	0,08	7 464	235	151,5
	Odbočka A1	76	219	6,3	100	25	100	0,08	5 185	235	105,3
	Odbočka A3	80	108	4	100	25	100	0,08	3 416	235	69,4
	Odbočka Pavilon C	133	133	4,5	100	30	100	0,08	6 464	235	131,2
	Odbočka Pavilon B	42	133	4,5	100	25	100	0,08	2 138	235	43,4
	Odbočka E - HD1	297	89	3,6	100	30	100	0,08	11 319	235	229,8
	Odbočka HD1 - HD2	255	76	3,2	100	30	100	0,08	8 897	235	180,6
	Hlavní potrubí sever	490	219	6,3	100	25	100	0,08	33 429	235	678,7
	Odbočka V - G	180	133	4,5	100	25	100	0,08	8 748	235	177,6
	Odbočka V - F	190	108	4	100	25	100	0,08	8 114	235	164,7
Odvod	Úsek AB - A	330	324	8	68	25	50	0,08	28 416	235	577,0
	Úsek A - B	160	219	6,3	68	25	50	0,08	6 258	235	127,1
	Úsek B - E	140	159	4,5	68	25	50	0,08	6 745	235	137,0
	Odbočka A1	76	219	6,3	68	25	50	0,08	2 973	235	60,4
	Odbočka A3	80	108	4	68	25	50	0,08	2 899	235	58,9
	Odbočka Pavilon C	133	133	4,5	68	30	50	0,08	5 601	235	113,7
	Odbočka Pavilon B	42	133	4,5	68	25	50	0,08	1 769	235	35,9
	Odbočka E - HD1	297	89	3,6	68	30	50	0,08	9 416	235	191,2
	Odbočka HD1 - HD2	255	76	3,2	68	30	50	0,08	7 284	235	147,9
	Hlavní potrubí sever	490	219	6,3	68	25	50	0,08	19 166	235	389,1
	Odbočka V - G	180	133	4,5	68	25	50	0,08	7 581	235	153,9
	Odbočka V - F	190	108	4	68	25	50	0,08	6 884	235	139,8

**Tab. 6.2** Přehled tepelných ztrát v potrubí v létě

Úsek	Délka	Vnější průměr potrubí	Tloušťka trubky	Průměrná teplota	Teplota okolí	Tloušťka izolace	Materiál izolace	Tepelná ztráta potrubí	Doba provozu	Celková ztráta	
	$l$	$D_e$	$t$	$t$	$t$	$s$	$\lambda_{iz}$	$P$	$\tau$	$P_c$	
	$m$	$mm$	$mm$	°C	°C	$mm$	$W/(m^2.K)$	$W$	$dny$	$GJ/rok$	
Přívod	Úsek AB - A	330	324	8	70	25	100	0,08	18 131	130	203,6
	Úsek A - B	160	219	6,3	70	25	100	0,08	6 549	130	73,6
	Úsek B - E	140	159	4,5	70	25	100	0,08	4 588	130	51,5
	Odbočka A1	76	219	6,3	70	25	100	0,08	3 111	130	34,9
	Odbočka A3	80	108	4	70	25	100	0,08	2 050	130	23,0
	Odbočka Pavilon C	133	133	4,5	70	30	100	0,08	3 878	130	43,6
	Odbočka Pavilon B	42	133	4,5	70	25	100	0,08	1 225	130	13,8
	Odbočka E - HD1	297	89	3,6	70	30	100	0,08	6 791	130	76,3
	Odbočka HD1 - HD2	255	76	3,2	70	30	100	0,08	5 338	130	60,0
	Hlavní potrubí sever	490	219	6,3	70	25	100	0,08	20 058	0	0,0
	Odbočka V - G	180	133	4,5	70	25	100	0,08	5 249	0	0,0
	Odbočka V - F	190	108	4	70	25	100	0,08	4 868	0	0,0
Odvod	Úsek AB - A	330	324	8	50	25	50	0,08	16 521	130	185,6
	Úsek A - B	160	219	6,3	50	25	50	0,08	3 639	130	40,9
	Úsek B - E	140	159	4,5	50	25	50	0,08	3 922	130	44,1
	Odbočka A1	76	219	6,3	50	25	50	0,08	1 728	130	19,4
	Odbočka A3	80	108	4	50	25	50	0,08	1 685	130	18,9
	Odbočka Pavilon C	133	133	4,5	50	30	50	0,08	3 257	130	36,6
	Odbočka Pavilon B	42	133	4,5	50	25	50	0,08	1 028	130	11,5
	Odbočka E - HD1	297	89	3,6	50	30	50	0,08	5 474	130	61,5
	Odbočka HD1 - HD2	255	76	3,2	50	30	50	0,08	4 234	130	47,6
	Hlavní potrubí sever	490	219	6,3	50	25	50	0,08	11 143	0	0,0
	Odbočka V - G	180	133	4,5	50	25	50	0,08	4 407	0	0,0
	Odbočka V - F	190	108	4	50	25	50	0,08	4 002	0	0,0

### 6.2.3 Dopady přechodu z parovodu na horkovod

Z výše vypočítaných ztrát jsme zjistili, že klesnou o 4 956,4 GJ/rok oproti parovodnímu vedení (obr. 6.4). Nové rozložení energií včetně cen je následující:

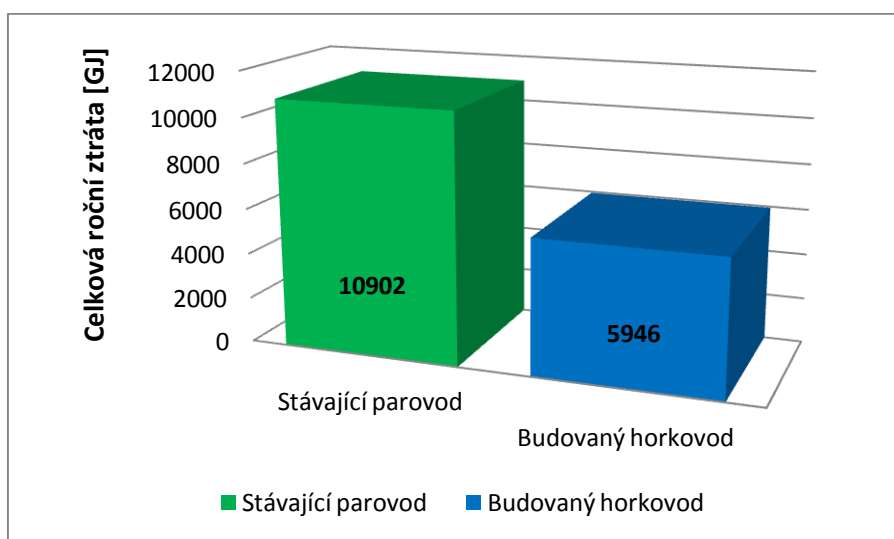
• Teplo	464	Kč/GJ	47 934	GJ	22 241 190 Kč
• Zemní plyn	10	Kč/m <sup>3</sup>	293 125	m <sup>3</sup>	2 931 250 Kč
• Elektrická energie	2,50	Kč/kWh	9 708 000	kWh	24 270 000 Kč

Celkové náklady činí 49 442 440 Kč a oproti parovodu dosahujeme roční úspory 2 299 767 Kč. Náklady na výměnu potrubí jsme odhadli na 23 410 000 Kč. Pro úplnost musíme uvést, že absencí parovodu vyřadíme z provozu některé VZT jednotky, proto je budeme muset vyměnit odhadem za 2 000 000 Kč.

Výpočet prosté návratnosti (6.1):

$$\text{Prostá návratnost} = \frac{\text{Investiční náklady}}{\text{Roční úspora}} \quad (6.1)$$

$$\text{Prostá návratnost} = \frac{25\,410\,000}{2\,299\,767} = \mathbf{11,0\,let}$$



**Obr. 6.4** Porovnání tepelných ztrát před a po rekonstrukci

Všechny další výpočty nebudou porovnávány k současným hodnotám, ale k těmto přepočteným, protože přechod na horkovod proběhne v blízké době.



### 6.3 Návrh kogenerační jednotky na krytí celoroční potřeby TV

Návrh KJ je podmíněn základními podmínkami uvedenými v kapitole 2.2.1. Tyto podmínky jsou v rámci výstaviště splněny. Areál má vysokou spotřebu elektrické energie. Instalace KJ tedy povede k úsporám i v rámci výdajů na elektřinu.

#### 6.3.1 Celoroční spotřeba TV na výstavišti

Nejjednodušším způsobem, jak zjistit přibližnou spotřebu na výrobu TV, je odečíst spotřebu tepla v letních měsících, kdy je veškeré teplo užíváno na ohřev TV. Jelikož je část TV připravována z teplovodu a část, po vypnutí přívodu „hlavní potrubí – sever“ plynovými kotli, musíme provést součet těchto zdrojů.

Jako letní měsíce budeme na základě obr. 5.6 brát červen – září. V úvahu připadá ještě měsíc květen, z dostupných dat (tab. 5.8) však usuzuji, že v květnu došlo ke vzniku znatelné spotřeby ještě za účelem vytápění. Údaje by byly nepřesné hlavně na straně plynu. Zde je nárůst způsoben jistě vypnutím parovodu „hlavní potrubí – sever“.

Spotřeba tepla v letních měsících je 5 169 GJ, což je cca 1 292 GJ měsíčně. Z tohoto můžeme odhadnout celoroční spotřebu na TV – 15 507 GJ. U zemního plynu je tomu 9 221 m<sup>3</sup>, což je cca 2 305 m<sup>3</sup> měsíčně. Celoročně tedy 27 663 m<sup>3</sup>. Tj. 992 GJ.

Na TV tedy spotřebujeme **16 499 GJ** ročně. Tato spotřeba se skládá ze:

- spotřeby na výrobu TV
- ztrát ve zdroji
- ztrát v rozvodech

Daná KJ bude navržena na tuto celoroční potřebu.

#### 6.3.2 Navržení kogenerační jednotky

Vzhledem k největším spotřebitelům HD1 a HD2, kde sídlí drobné firmy a řemeslníci, je třeba, aby byla TV dostupná od ranních 5:30 hodin do odpoledních cca 17:30 hodin. Volím proto dvanáctihodinový režim ve všední dny. Těch je v měsíci průměrně 20,9 (2017). Po vynásobení dostáváme roční hodinový provoz **3 010 hodin**.

Potřebný tepelný výkon spočítáme z rovnice (6.2):

$$P_t = \frac{Q_{TUV}}{0,003\,6 \cdot t} \quad (6.2)$$

kde

$P_T$	[kW]	tepelný výkon
$Q_{TUV}$	[GJ]	teplo potřebné na TV, vyrobené v KJ
$t$	[hod]	počet provozních hodin KJ

$$P_T = \frac{16\,499}{0,003\,6 \cdot 3010} = 1\,523\,kW$$

Nyní vybereme vhodnou KJ z katalogu firmy TEDOM. Budeme uvažovat jednotku se spalovacím motorem na zemní plyn.

Vybrána byla jednotka QUANTO D1600 od společnosti TEDOM. Parametry této jednotky jsou v tab. 6.4. Výrobu elektřiny stanovíme pomocí teplotního modulu (6.3)

**Tab. 6.4** Navrhovaná KJ [30]

TEDOM QUANTO D1600		
Jmenovitý elektrický výkon		1 560 kW
Maximální tepelný výkon		1 709 kW
Účinnost	elektrická	43,3%
	tepelná	47,5%
	celková	90,8%
Teplotní modul		0,91
Spotřeba plynu při 100 % výkonu		361,3 m <sup>3</sup> /hod

$$E_{TUV} = \frac{e \cdot Q_{TUV}}{0,0036} = \frac{0,91 \cdot 16\,499}{0,0036} = 4\,170\,580 \text{ kWh} \quad (6.3)$$

kde

$$\begin{array}{ll} E_{TUV} & [\text{kWh}] \\ e & [-] \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{elektřina získaná při ohřevu TUV} \\ \text{teplotní modul} \end{array}$$

### 6.3.3 Dopady instalace kogenerační jednotky na energetickou bilanci

Jednotka je navržena na 100% chod, jelikož má pokrývat celoroční spotřebu TV. Celková spotřeba plynu  $S_{plynu, KJ}$  je v rovnici 6.4.

$$S_{plynu, KJ} = S_{100\%} \cdot t = 361,3 \cdot 3010 = 1\,087\,513 \text{ m}^3 = 10\,835 \text{ MWh} \quad (6.4)$$

Roční spotřeba plynu nám tedy výrazně naroste. Z roční spotřeby plynu  $293\,125 \text{ m}^3$  nám odpadne  $27\,663 \text{ m}^3$  na TV. Spotřeba na vytápění je tedy  $265\,462 \text{ m}^3$ .

$$\text{Celková spotřeba plynu} = \text{Spotřeba na vytápění} + \text{Spotřeba na KJ}$$

$$\text{Celková spotřeba plynu} = 265\,462 + 1\,087\,513 = 1\,352\,975 \text{ m}^3$$

Spotřeba tepla poklesne o 15 507 GJ, ze 47 934 GJ na 32 427 GJ ročně. Uvažováno je již se zavedeným horkovodem. Zisk elektrické energie činí 4 170 580 kWh. Celková spotřeba areálu je 9 708 000 kWh. Zisk z KJ je menší než polovina roční spotřeby, jednotka běží přesně polovinu dne a to v době, kdy je spotřeba jistě vyšší než v noci. Je tedy reálné, že bude všechna energie využita přímo v areálu. Ze sítě nám zbývá odebrat 5 537 420 kWh.

Nové rozdělení cenové zátěže:

- Teplo 464 Kč/GJ 32 427 GJ 15 049 128 Kč
- Zemní plyn 10 Kč/m<sup>3</sup> 1 352 975 m<sup>3</sup> 13 529 750 Kč
  - změny v ekologické dani pro ZP [31]
    - odpočet za KJ 10 835 MWh · 30,60 Kč = 331 551 Kč
- Elektrická energie 2,50 Kč/kWh 5 537 420 kWh 13 843 550 Kč

Celkové náklady dosahují 42 090 877 Kč. Roční úspora oproti stávající situaci včetně horkovodního vedení je 7 351 563 Kč.

### 6.3.4 Pořízení KJ

Kromě pořizovací ceny musíme brát zřetel také na další investiční položky. Instalační náklady volíme 10 % z pořizovací ceny. Je v nich zahrnuta doprava, instalace, zaškolení obsluhy, oživení a zkušební provoz. Jelikož je TV připravována vesměs z výměníkůvých stanic parovodu, uvažujeme o vedení topné vody stejným kolektorem a využití těchto VS, kde se napojují již stávající rozvody. Vzniklo by nové vedení teplé vody pouze na úsecích, kde je parovod.

Vzhledem k uvažovanému přechodu na horkovod, můžeme také uvažovat využití tohoto vedení. V jednání je také spolufinancování nového horkovodního vedení ze strany tepláren. Cenu přívodu nového plynovodu o délce 280 m jsme odhadli na 780 000 Kč. Náklady tedy jsou:

- Pořizovací náklady
  - cena Quanto D1600 18 150 000 Kč
  - instalační náklady 1 815 000 Kč
  - výměna potrubí parovod/horkovod 15 125 000 Kč
  - nový plynovod 780 000 Kč
- Provozní náklady
  - bez KJ 49 442 440 Kč
  - s KJ 42 090 563 Kč
  - Údržba KJ 1 459 703 Kč

Dle zkušeností firmy TEDOM se odhadují náklady na údržbu na 0,28 – 0,35 Kč/kWhe. Jedná se o jednotku velkého výkonu, proto volím 0,35 Kč/kWhe.

$$\text{Prostá návratnost} = \frac{35\,912\,800}{5\,891\,860} = 6,1 \text{ let}$$

## 7 NÁVRH ZAPOJENÍ DÍLČÍCH ZDROJŮ V AREÁLU

Zvolili jsme především úpravu hospodářství v místě trvání celoročních odběrů energií. Využili jsme poznatku o ztrátách horkovodní sítě, předchozích srovnání cen a také spotřeb jednotlivých objektů a jejich využívání. Jedním návrhem bude instalace několika KJ pro krytí potřeby teplé vody. Dalším návrhem je odpojení hospodářských dvorů od CZT a následná instalace plynových kotlů nebo kombinované výroby pomocí KJ a špičkového zdroje – plynového kotle.

### 7.1 Návrh dílčích KJ v místě přímé potřeby TV

Tato varianta zahrnuje návrh menších kogeneračních jednotek v místech, kde máme spotřebu TV po celý rok. Tato místa bychom mohli v letních měsících odpojit od CZT a tím snížit roční tepelné ztráty. Mezi objekty s celoroční potřebou TV patří administrativní budova AB, budova A3 a hospodářské dvory HD1 a HD2.

#### 7.1.1 Navržení kogenerační jednotky

Oproti potřebě vytápění se dá říci, že potřeba TV je vyrovnaná po celý rok s drobnými odchylkami (v zimě je  $\Delta t$  o něco větší). V létě je také nižší spotřeba z důvodu nižšího provozu (dovolené). K této variantě máme bohužel pouze průměrné měsíční spotřeby na jednotlivých objektech (tab. 7.1). Z nich je vypočtena roční spotřeba.

Tab. 7.1 Volba KJ [30]

Objekt		HD1	HD2	AB	A3
Měsíční spotřeba	[GJ/měsíc]	41	240	120	60
Roční spotřeba	[GJ/rok]	492	2 880	1 440	720
Provozní hodiny	hod	2 500	2 750	2 750	2 000
Tepelný výkon KJ	[kW]	54,7	290,9	145,5	100,0
<b>Zvolená KJ</b>		<b>Micro T30</b>	<b>Cento L230</b>	<b>Cento T100</b>	<b>Cento T80</b>
<b>Cena</b>	<b>mil. Kč</b>	<b>1,21</b>	<b>4,92</b>	<b>2,92</b>	<b>2,56</b>
Provedení		S protihlukovým krytem			
Jmenovitý el. výkon KJ	[kW]	30,0	235,0	104,0	81,0
Tepelný výkon	[kW]	59,4	301	149	120
Teplárenský modul	[-]	0,51	0,78	0,70	0,68
Elektrická účinnost	[%]	32	41,5	36,9	35,1
Tepelná účinnost	[%]	63,3	53	52,9	52,2
Celková účinnost	[%]	95,3	94,5	89,4	87,3
Příkon v palivu	[kW]	93,8	567	282	231
<b>Výroba el. energie</b>	<b>[kWh]</b>	<b>69 024</b>	<b>624 585</b>	<b>279 195</b>	<b>135 000</b>
Spotřeba plynu	[m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ]	9,41	56,91	28,30	23,18
<b>Celková spotřeba plynu</b>	<b>[m<sup>3</sup>]</b>	<b>23 535</b>	<b>156 490</b>	<b>77 831</b>	<b>46 367</b>

V tab. 7.1 je uveden souhrn všech vstupních parametrů a navržené jednotlivé jednotky pro každý objekt. Shrnuty jsou spotřeby zemního plynu a výroba elektrické energie. Postup byl shodný s výše uvedenými rovnicemi 6.2 – 6.4.

Stanovení provozních hodin proběhlo následovně:

- HD1 - v provozu od 6:00 do 15:00 hodin v pracovní dny
- HD2 - v provozu od 5:00 do 15:00 hodin v pracovní dny
- AB - v provozu od 7:00 do 18:00 hodin v pracovní dny
- A3 - v provozu od 7:00 do 15:00 hodin v pracovní dny

### 7.1.2 Dopady na energetickou bilanci

Všechny čtyři uvažované objekty jsou celoročně zásobeny parovodem. Spotřeba na straně tepla klesne o 5 532 GJ ročně. Spotřeba zemního plynu vzroste o 304 223 m<sup>3</sup>. Tj. 3 031 MWh. Za platbu elektrické energie ušetříme – vlastní produkcí – o 1 107 804 kWh.

Další dopad této aplikace může být v odpojení potrubí mezi objekty: E-HD1, HD1-HD2 a odbočky A3 v letních měsících (130 dní). Tím nám klesnou roční ztráty o 287,3 GJ (brány již hodnoty horkovodu viz tab. 6.2, 6.3).

Nové rozdělení cenové zátěže:

- |  |      |                   |           |                |               |
|--|------|-------------------|-----------|----------------|---------------|
| • Teplo  | 464  | Kč/GJ             | 42 115    | GJ             | 19 541 360 Kč |
| • Zemní plyn                                     | 10   | Kč/m <sup>3</sup> | 597 348   | m <sup>3</sup> | 5 973 480 Kč  |
| ○ změny v ekologické dani pro ZP [31]            |      |                   |           |                |               |
| ▪ odpočet za KJ 3 031 MWh · 30,60 Kč = 92 749 Kč |      |                   |           |                |               |
| • Elektrická energie                             | 2,50 | Kč/kWh            | 8 600 196 | kWh            | 21 500 490 Kč |

Celkové roční náklady činí 46 922 581 Kč. To znamená roční úsporu 2 519 859 Kč. Oproti stavu se zahrnutým užíváním horkovodu.

### 7.1.3 Pořízení jednotek

V tab. 7.1 je přehled zvolených KJ a jejich pořizovacích nákladů. V rozvodech k velkým změnám nedojde, instalovány by byly v blízkosti současných VS, ze kterých jsou již rozvody TV. Pro zvýšení spolehlivosti dodávky i při vyšších, náhlých odběrech je vhodné zvážit instalace vhodných akumulčních nádrží.

Přívod plynovodu uvažujeme trasou dlouhou 280 m k budově AB, 260 m nového vedení k HD2 a 200 m k HD1. Vedení k A3 je zanedbáno, v budově A již plyn zaveden je. Nové vedení má délku 740 m.

• Pořizovací náklady	
○ cena za všechny KJ	11 610 000 Kč
○ instalační náklady	1 367 000 Kč
○ nový plynovod	2 061 429 Kč
• Provozní náklady	
○ bez KJ	49 442 440 Kč
○ s KJ	46 922 581 Kč
○ údržba	310 185 Kč

Jedná se o menší jednotky, proto volíme 0,28 Kč/kWh<sub>e</sub> na údržbu.

$$Prostá\ návratnost = \frac{15\,038\,429}{2\,209\,674} = 6,9\, let$$

## 7.2 Návrh KJ na krytí tepelné spotřeby objektů HD1 a HD2

Na pokrytí celé tepelné spotřeby se už z principu nemůže podílet pouze samotná KJ. Zde již musíme sestavit roční diagram trvání potřeby tepla a na základě toho rozhodnout, zda navrhujeme jednu KJ na krytí základní potřeby a plynové kotle na krytí zbylé, špičkové. Druhou možností je nasazení více KJ.

### 7.2.1 Roční diagram trvání potřeby tepla

Z měsíčních odběrů tepla těchto objektů se pokusíme sestavit roční diagram trvání potřeby tepla. Použijeme přepočet pomocí měrné ztráty prostupem tepla, kterou si stanovíme z měsíční bilance spotřeby (7.1) a poté uděláme průměrnou hodnotu pro celé topné období.

$$H_T = \frac{P_T}{T_i - T_o} \quad (7.1)$$

kde

$P_T$	[kW]	požadovaný tepelný výkon
$H_T$	[kW·K <sup>-1</sup> ]	měrná ztráta prostupem tepla

K sestavení diagramu potřebujeme získat také potřebné klimatické údaje. Ty budeme uvažovat pro rok 2016. [32]

V tab. 7.2 a 7.3 je výpočet  $H_T$  ve všech měsících. Spotřeba tepla je uvedena pouze na vytápění. Ohřev TV počítáme z předchozích úvah (tab. 7.1).

V každém měsíci si stanovíme počet otopných dní, průměrnou teplotu a teplotu vytápění. Ze spotřeb páry si určíme denní spotřeby a maximální potřebný výkon v lednu. Jako příklad uvedeme právě měsíc leden, ten má 31 otopných dní, průměrná teplota v lednu je 0,6 °C a požadujeme teplotu vytápění 20 °C. Hodnoty vstupní údaje pro leden:

- spotřeba páry v lednu
  - HD1 kWh 225 305,6
  - HD2 kWh 537 694,4
- denní spotřeba páry
  - HD1 kWh·den<sup>-1</sup> 7 268
  - HD2 kWh·den<sup>-1</sup> 17 345
- maximální výkon leden
  - HD1 kW 303
  - HD2 kW 723
- měrná ztráta prostupem
  - HD1 kW · K<sup>-1</sup> 15,6
  - HD2 kW · K<sup>-1</sup> 37,3

Součinitel měrné ztráty za celý rok určíme výpočtem aritmetického průměru (7.2). K tomuto výpočtu použijeme zimní měsíce, aby nedošlo k poddimenzování vlivem ohřevu pouze teplé vody. Použijeme období Leden – Duben a Říjen – Prosinec.

**Tab. 7.2** Stanovení parametru  $H_T$  v objektu HD1

Měsíc	Počet topných dní (2016)	Spotřeba tepla na vytápění		Denní spotřeba tepla [kWh/den]	Nutný výkon zdroje [kW]	$\Delta T$ [°C]	$H_T$ [kW/K]
		[GJ]	[kWh]				
Leden	31	811,1	225 305,6	7 267,9	302,83	19,39	15,6
Únor	29	757,6	210 444,4	6 788,5	282,86	14,21	19,9
Březen	31	671,3	186 472,2	6 015,2	250,63	13,67	18,3
Duben	28	355,1	98 638,9	3 181,9	132,58	9,88	13,4
Květen	11	71,2	19 777,8	638,0	26,58	3,05	8,7
Červen	0	0,0	0,0	0,0	0,00	3,01	0,0
Červenec	0	0,0	0,0	0,0	0,00	-2,45	0,0
Srpen	0	0,0	0,0	0,0	0,00	-0,07	0,0
Září	4	5,0	1 388,9	44,8	1,87	4,78	0,4
Říjen	23	337,1	93 638,9	3 020,6	125,86	11,68	10,8
Listopad	30	655,3	182 027,8	5 871,9	244,66	15,42	15,9
Prosinec	31	668,6	185 722,2	5 991,0	249,63	18,82	13,3

$$H_{TP} = \frac{\sum H_T}{\sum \text{měsíc}} \quad (7.2)$$

$$H_{TP,HD1} = \frac{15,6 + 19,9 + 18,3 + 13,4 + 10,8 + 15,9 + 13,3}{7} = \mathbf{15,3 \text{ kW} \cdot \text{K}^{-1}}$$

Obdobně v tab. 7.3 pro objekt HD2. Průměrný součinitel měrné tepelné ztráty pro HD2 určuje rovnice (7.3).

**Tab. 7.3** Stanovení parametru  $H_T$  v objektu HD2

Měsíc	Počet topných dní (2016)	Spotřeba tepla na vytápění		Denní spotřeba tepla [kWh/den]	Nutný výkon zdroje [kW]	$\Delta T$ [°C]	$H_T$ [kW/K]
		[GJ]	[kWh]				
Leden	31	1935,7	537 694,4	17 345,0	722,71	19,39	37,3
Únor	29	1895,3	526 472,2	16 983,0	707,62	14,21	49,8
Březen	31	1678,0	466 111,1	15 035,8	626,49	13,67	45,8
Duben	28	869,9	241 638,9	7 794,8	324,78	9,88	32,9
Květen	11	342,7	95 194,4	3 070,8	127,95	3,05	42,0
Červen	0	0,0	0,0	0,0	0,00	3,01	0,0
Červenec	0	0,0	0,0	0,0	0,00	-2,45	0,0
Srpen	0	0,0	0,0	0,0	0,00	-0,07	0,0
Září	4	2,7	750,0	24,2	1,01	4,78	0,2
Říjen	23	976,2	271 166,7	8 747,3	364,47	11,68	31,2
Listopad	30	1513,5	420 416,7	13 561,8	565,08	15,42	36,6
Prosinec	31	1656,2	460 055,6	14 840,5	618,35	18,82	32,9

$$H_{TP,HD1} = \mathbf{38,0 \text{ kW} \cdot \text{K}^{-1}} \quad (7.3)$$

Pomocí těchto součinitelů nyní sestavíme tab. 7.4, kde máme rozpočítány potřebné výkony pro tyto objekty v závislosti na venkovní teplotě. Pomocí těchto potřebných výkonů jsme potom schopni, na základě znalosti počtu hodin trvání dané teploty (stanoveno z [32]) sestavit diagram ročního trvání potřeby tepla. V tabulce jsou zahrnuty oba dva hospodářské dvory.

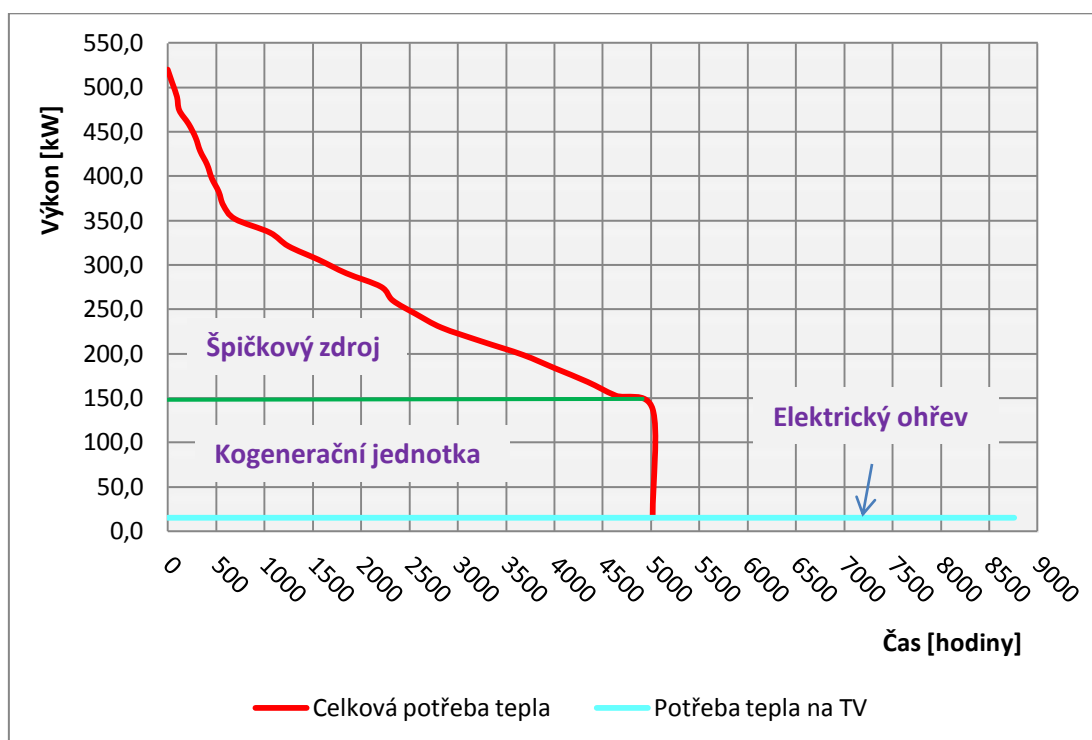


**Tab. 7.4** Stanovení potřebných výkonů pro objekty HD1 a HD2

Venkovní teplota nižší než [°C]	Počet dní venkovní teploty [32] [dny]	HD1			HD2			Počet hodin provozu [hod]
		Potřeba tepla na vytápění [kW]	Potřeba tepla pro TV [kW]	Potřeba tepla [kW]	Potřeba tepla na vytápění [kW]	Potřeba tepla pro TV [kW]	Potřeba tepla [kW]	
-13	0	504,9	15,3	520,2	1 254,0	89,6	1 343,6	0
-12	2	489,6	15,3	504,9	1 216,0	89,6	1 305,6	48
-11	4	474,3	15,3	489,6	1 178,0	89,6	1 267,6	96
-10	5	459,0	15,3	474,3	1 140,0	89,6	1 229,6	120
-9	9	443,7	15,3	459,0	1 102,0	89,6	1 191,6	216
-8	12	428,4	15,3	443,7	1 064,0	89,6	1 153,6	288
-7	14	413,1	15,3	428,4	1 026,0	89,6	1 115,6	336
-6	17	397,8	15,3	413,1	988,0	89,6	1 077,6	408
-5	19	382,5	15,3	397,8	950,0	89,6	1 039,6	456
-4	22	367,2	15,3	382,5	912,0	89,6	1 001,6	528
-3	24	351,9	15,3	367,2	874,0	89,6	963,6	576
-2	29	336,6	15,3	351,9	836,0	89,6	925,6	696
-1	44	321,3	15,3	336,6	798,0	89,6	887,6	1056
0	52	306,0	15,3	321,3	760,0	89,6	849,6	1248
1	65	290,7	15,3	306,0	722,0	89,6	811,6	1560
2	77	275,4	15,3	290,7	684,0	89,6	773,6	1848
3	92	260,1	15,3	275,4	646,0	89,6	735,6	2208
4	97	244,8	15,3	260,1	608,0	89,6	697,6	2328
5	107	229,5	15,3	244,8	570,0	89,6	659,6	2568
6	118	214,2	15,3	229,5	532,0	89,6	621,6	2832
7	135	198,9	15,3	214,2	494,0	89,6	583,6	3240
8	153	183,6	15,3	198,9	456,0	89,6	545,6	3672
9	167	168,3	15,3	183,6	418,0	89,6	507,6	4008
10	181	153,0	15,3	168,3	380,0	89,6	469,6	4344
11	193	137,7	15,3	153,0	342,0	89,6	431,6	4632
12	209	122,4	15,3	137,7	304,0	89,6	393,6	5016

Z tabulky je patrná délka otopného období a to 5 016 hodin. Poté zůstane potřeba pouze ohřevu TV. Počty dní byly stanoveny podle posledního roku. Pro přesnější údaje bychom museli vzít hodnoty za delší časový horizont.

Na obr. 7.1 máme stanovený roční diagram trvání potřeby tepla pro objekt HD1. Zelená čára rozděluje plochu pod křivkou na část, kdy poběží KJ a na část, kdy poběží záložní – špičkový zdroj. Voda mimo otopné období bude ohřívána elektrickým ohříváčem.



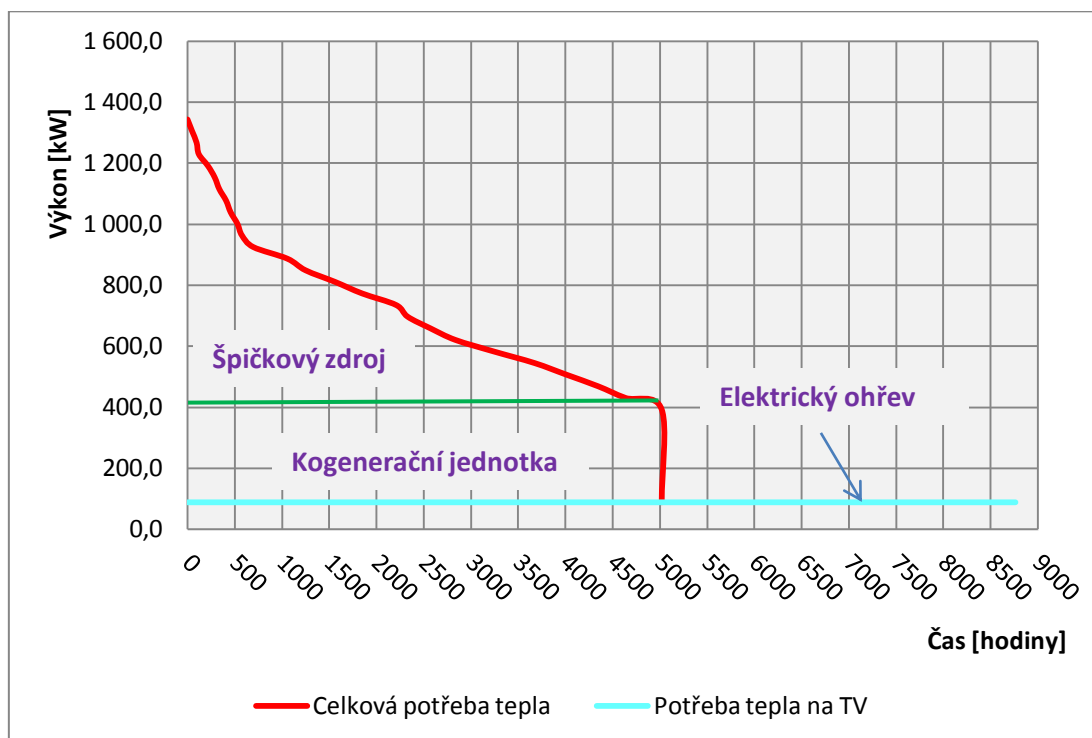
**Obr. 7.1** Roční diagram trvání potřeby tepla pro objekt HD1

Po dobu konstantního odběru volíme kogenerační jednotku a pro hodiny s vyšší potřebou vidíme v diagramu zapojení špičkového zdroje tedy plynového kotle. Kogenerace bude v provozu 5 016 hodin. Potřebný tepelný výkon je 153 kW<sub>T</sub>. Zvolíme tedy jednotku TEDOM CENTO T120. Na krytí špičkového odběru nám zbývá 328 kW<sub>T</sub>. Pro tuto potřebu volíme průmyslový plynový kondenzační kotel se základním tepelným výkonem 350 kW. Po zbytek roku (3 760 hodin) uvažujeme s ohřevem TV pomocí elektrických ohříváčů.

Obdobně rozvrhneme diagram pro objekt HD2 (obr. 7.2). Provoz KJ je také 5 016 hodin. Pro výkon 418 kW<sub>T</sub> navrhuji TEDOM CENTO L330 a to variantu se zvýšeným tepelným výkonem (429 kW<sub>T</sub>). Zbýlých 787 kW<sub>T</sub> pokryje plynový kondenzační kotel o výkonu 800 kW. Po zbytek roku (3 744 hodin) uvažujeme s ohřevem TV pomocí elektrických ohříváčů, popřípadě by se zde dal nainstalovat plynový kotel.

Důležitá je také zálohovatelnost kogenerační jednotky. V době výpadku KJ, by v obou případech převzaly vytápění alespoň z části plynové kotle. Tato záloha je po většinu roku dostatečná. Pro bezpečnější provoz by musel být tepelný výkon plynových kotlů doplněn.

Zbývá nám určit elektrickou energii na ohřev vody ve zbývajících měsících. Zjednodušeně, po dobu 3 744 hodin potřebujeme stálé výkony 15,3 kW pro HD1 a 89,6 kW pro HD2. Tj. 392 746 kWh.



Obr. 7.2 Roční diagram trvání potřeby tepla pro objekt HD2

### 7.2.2 Návrh kogenerační jednotky a plynových kotlů

V tab. 7.5 je přehled vybraných KJ pro oba objekty, včetně cen, vyrobené elektrické energie a spotřeby plynu.

Tab. 7.5 Parametry jednotek a vypočtené roční hodnoty [30]

Objekt	Jednotka	HD1	HD2
Provozní hodiny	hod	5 016	5 016
Tepelný výkon KJ	[kW]	153,0	418,0
<b>Zvolená KJ</b>		<b>CENTO T120</b>	<b>CENTO L330</b>
Cena	mil Kč	3,10	6,00
Provedení		S protihlukovým krytem	
Jmenovitý elektrický výkon	[kW]	125,0	326,0
Tepelný výkon	[kW]	177	429
Teplárenský modul	[-]	0,71	0,76
Elektrická účinnost	[%]	36,4	39,7
Tepelná účinnost	[%]	51,7	52,2
Celková účinnost	[%]	88,1	91,9
Příkon v palivu	[kW]	343	820
Spotřeba plynu	[m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ]	34,42	82,30
Celková výroba tepla	[kWh]	767 448,0	2 096 688,0
Celková výroba el. energie	[kWh]	541 983,1	1 593 287,4
<b>Celková spotřeba plynu</b>	<b>[m<sup>3</sup>]</b>	<b>172 672</b>	<b>412 803</b>

Pro zjištění přesného provozu plynového kotle (HD1) si sestavíme tab. 7.6, kde je odečteno období vytápění pomocí KJ. Pomocí počtu hodin provozu na daných výkonových hladinách se pak vypočte množství dodávaného tepla plynem a celkový součet dodaného tepla je v zápatí tabulky.

**Tab. 7.6** Stanovení celkové spotřeby paliv HD1

Vstupní hodnoty potřeb tepla				KJ		Špičkový zdroj		Doba provozu
Potřeba tepla na vytápění	Potřeba tepla pro TV	Potřeba tepla	Počet hodin provozu	Výkon KJ	Množství dodaného tepla	Výkon špičkového zdroje	Množství dodaného tepla	
[kW]	[kW]	[kW]	[hod]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	
504,9	15,3	520,2	0	153,0	0	367,2	0	0
489,6	15,3	504,9	48	153,0	7 344	351,9	16 891	48
474,3	15,3	489,6	96	153,0	7 344	336,6	16 157	48
459,0	15,3	474,3	120	153,0	3 672	321,3	7 711	24
443,7	15,3	459,0	216	153,0	14 688	306,0	29 376	96
428,4	15,3	443,7	288	153,0	11 016	290,7	20 930	72
413,1	15,3	428,4	336	153,0	7 344	275,4	13 219	48
397,8	15,3	413,1	408	153,0	11 016	260,1	18 727	72
382,5	15,3	397,8	456	153,0	7 344	244,8	11 750	48
367,2	15,3	382,5	528	153,0	11 016	229,5	16 524	72
351,9	15,3	367,2	576	153,0	7 344	214,2	10 282	48
336,6	15,3	351,9	696	153,0	18 360	198,9	23 868	120
321,3	15,3	336,6	1056	153,0	55 080	183,6	66 096	360
306,0	15,3	321,3	1248	153,0	29 376	168,3	32 314	192
290,7	15,3	306,0	1560	153,0	47 736	153,0	47 736	312
275,4	15,3	290,7	1848	153,0	44 064	137,7	39 658	288
260,1	15,3	275,4	2208	153,0	55 080	122,4	44 064	360
244,8	15,3	260,1	2328	153,0	18 360	107,1	12 852	120
229,5	15,3	244,8	2568	153,0	36 720	91,8	22 032	240
214,2	15,3	229,5	2832	153,0	40 392	76,5	20 196	264
198,9	15,3	214,2	3240	153,0	62 424	61,2	24 970	408
183,6	15,3	198,9	3672	153,0	66 096	45,9	19 829	432
168,3	15,3	183,6	4008	153,0	51 408	30,6	10 282	336
153,0	15,3	168,3	4344	153,0	51 408	15,3	5 141	336
137,7	15,3	153,0	4632	153,0	44 064	0,0	0	288
122,4	15,3	137,7	5016	153,0	58 752	0,0	0	384
0,0	15,3	15,3	5026	0,0	0	0,0	0	0,0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
0	15,3	15,3	8 760	0,0	0	0,0	0	3 744
<b>CELKOVĚ</b>				<b>767 448</b>		<b>530 604</b>		

Pro HD2 je sestavena obdobně tab. 7.7.

**Tab. 7.7** Stanovení celkové spotřeby paliv HD2

Vstupní hodnoty potřeb tepla				KJ		Špičkový zdroj		Doba provozu [hod]
Potřeba tepla na vytápění	Potřeba tepla pro TV	Potřeba tepla	Počet hodin provozu	Výkon KJ	Množství dodaného tepla	Výkon špičkového zdroje	Množství dodaného tepla	
[kW]	[kW]	[kW]	[hod]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	
1 254,0	89,6	1 343,6	0	418,0	0	925,6	0	0
1 216,0	89,6	1 305,6	48	418,0	20 064	887,6	42 605	48
1 178,0	89,6	1 267,6	96	418,0	20 064	849,6	40 781	48
1 140,0	89,6	1 229,6	120	418,0	10 032	811,6	19 478	24
1 102,0	89,6	1 191,6	216	418,0	40 128	773,6	74 266	96
1 064,0	89,6	1 153,6	288	418,0	30 096	735,6	52 963	72
1 026,0	89,6	1 115,6	336	418,0	20 064	697,6	33 485	48
988,0	89,6	1 077,6	408	418,0	30 096	659,6	47 491	72
950,0	89,6	1 039,6	456	418,0	20 064	621,6	29 837	48
912,0	89,6	1 001,6	528	418,0	30 096	583,6	42 019	72
874,0	89,6	963,6	576	418,0	20 064	545,6	26 189	48
836,0	89,6	925,6	696	418,0	50 160	507,6	60 912	120
798,0	89,6	887,6	1056	418,0	150 480	469,6	169 056	360
760,0	89,6	849,6	1248	418,0	80 256	431,6	82 867	192
722,0	89,6	811,6	1560	418,0	130 416	393,6	122 803	312
684,0	89,6	773,6	1848	418,0	120 384	355,6	102 413	288
646,0	89,6	735,6	2208	418,0	150 480	317,6	114 336	360
608,0	89,6	697,6	2328	418,0	50 160	279,6	33 552	120
570,0	89,6	659,6	2568	418,0	100 320	241,6	57 984	240
532,0	89,6	621,6	2832	418,0	110 352	203,6	53 750	264
494,0	89,6	583,6	3240	418,0	170 544	165,6	67 565	408
456,0	89,6	545,6	3672	418,0	180 576	127,6	55 123	432
418,0	89,6	507,6	4008	418,0	140 448	89,6	30 106	336
380,0	89,6	469,6	4344	418,0	140 448	51,6	17 338	336
342,0	89,6	431,6	4632	418,0	120 384	13,6	3 917	288
304,0	89,6	393,6	5016	418,0	160 512	0,0	0	384
0,0	89,6	0,0	5026	0,0	0	0,0	0	0,0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
0	89,6	0	8 760	0,0	0	0,0	0	3 744
<b>CELKOVĚ</b>				<b>2 096 688</b>		<b>1 380 835</b>		

Na základě zjištěné výroby tepla si stanovíme spotřebu zemního plynu vztahem (7.4). Vstupní parametry i výsledné hodnoty pro oba kotle jsou uvedeny v tab. 7.8.

$$S_{plyn} = \frac{Q_{roční}}{\eta_N \cdot H_i} \quad (7.4)$$

kde

$S_{plyn}$	$[m^3 \cdot rok^{-1}]$	spotřeba plynu za rok
$Q_{roční}$	$[kWh \cdot rok^{-1}]$	tepelná energie za rok
$\eta_N$	$[-]$	stupeň normového využití
$H_i$	$[kWh \cdot m^{-3}]$	výhřevnost paliva

**Tab. 7.8** Spotřeba plynu

Kotel	Objekt	Roční produkce tepla [kWh/rok]	Stupeň normového využití [%]	Výhřevnost [kWh/m <sup>3</sup> ]	Množství plynu [m <sup>3</sup> /rok]
PKK-HD1	HD1	530 604	109,0	9,5	51 241
PKK-HD2	HD2	1 380 835	109,0	9,5	133 350

### 7.2.3 Dopady na energetickou bilanci

Spotřeba tepla poklesne o ztráty ve vedení přípojek E-HD1 a HD1-HD2 (samozřejmě v horkovodním provedení). Dále o celkovou spotřebu tepla těchto provozů. Klesne tedy o 19 564 GJ za rok.

Naroste spotřeba plynu a elektrické energie, tu však budeme z části pokrývat vlastním zdrojem. Pro KJ je součet spotřeby plynu 5 833 611 kWh. Tj. 585 475 m<sup>3</sup>. Špičkový zdroj musí vyprodukovat 1 839 250 kWh. To odpovídá 184 591 m<sup>3</sup>.

Elektrická energie vzroste o 392 746 kWh na ohřev TV. Provoz KJ pokryje 2 135 270 kWh. Nové rozložení energií včetně cen je následující:

- Teplo 464 Kč/GJ 28 370 GJ 13 163 680 Kč
- Zemní plyn 10 Kč/m<sup>3</sup> 765 168 m<sup>3</sup> 7 651 680 Kč
  - změny v ekologické dani pro ZP [31]
    - odpočet za KJ 5 833 MWh · 30,60 Kč = 178 490 Kč
- Elektrická energie 2,50 Kč/kWh 7 965 476 kWh 19 913 690 Kč

Celkové roční náklady činí 40 550 560 Kč. To znamená, že ročně uspoříme 8 891 880 Kč.

## 7.2.4 Pořízení zdrojů

I zde je nutné zavést nové plynové vedení. Instalační náklady odhadujeme opět na 10 % z pořizovací ceny.

- Pořizovací náklady
  - cena za KJ 9 100 000 Kč
  - cena za plynové kotle 864 860 Kč
  - instalační náklady 996 486 Kč
  - nový plynovod 1 281 429 Kč
- Provozní náklady
  - bez KJ 49 442 440 Kč
  - s KJ 40 550 560 Kč
  - údržba 640 581 Kč

Jedná se o jednotky středního výkonu proto volím 0,30 Kč/kWh<sub>e</sub> na údržbu. Jednotka řady CENTO je zobrazena na obr. 7.3.

$$\text{Prostá návratnost} = \frac{12\,242\,775}{8\,891\,880} = 1,4 \text{ roku}$$



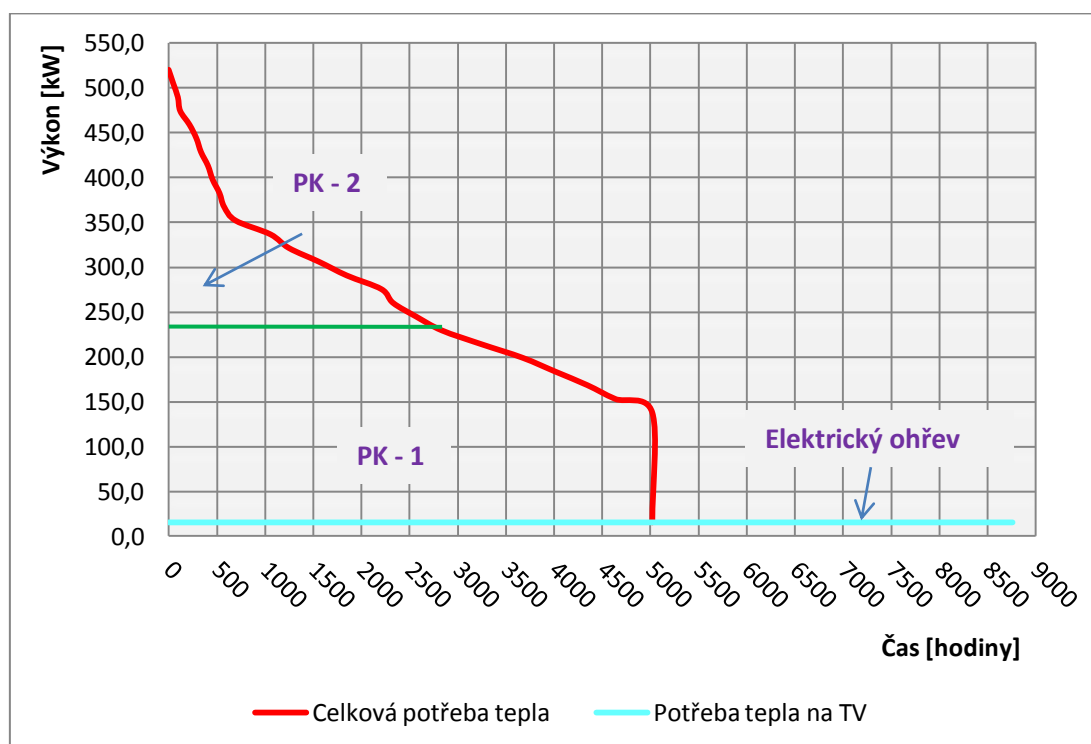
**Obr. 7.3** Kogenerační jednotka řady CENTO s protihlukovým krytem [30]

## 7.3 Vytápění HD1 a HD2 plynovým kotlem

Tato možnost zahrnuje také odpojení dvou VS od CZT a následné instalaci plynových kotlů v těchto prostorách. Tím by nedošlo k žádným výrazným změnám uvnitř těchto objektů.

### 7.3.1 Potřebný výkon kotlů

Návrh kotlů musí odpovídat výkonové potřebě pro oba hospodářské dvory. Potřebná data máme již v tab. 7.4. Použijeme shodné roční diagramy trvání potřeb tepla. Dále si navolíme rozložení pokrytí výkonu jednotlivými kotli. Jedná se o tři fáze – celoroční potřeba TV, vytápění v otopné sezóně s konstantním výkonem a vytápění s proměnlivým výkonem (obr. 7.4 a 7.5).

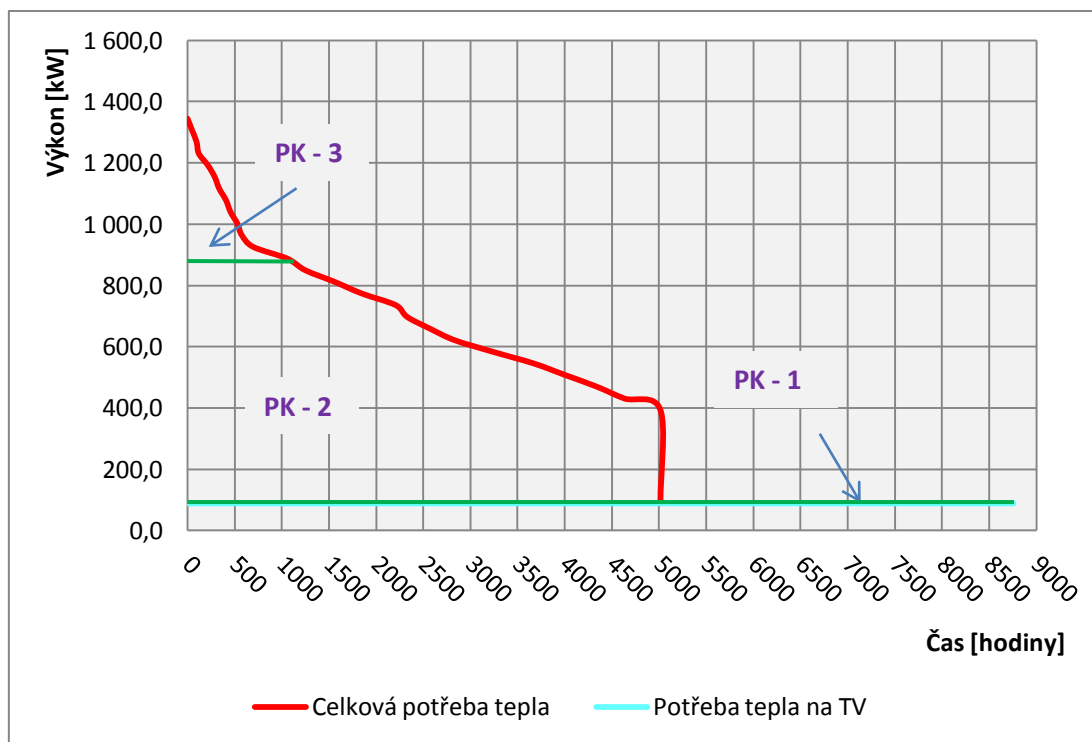


**Obr. 7.4** Krytí potřebných výkonů jednotlivými spotřebiči HD1

V HD1 uvažujeme, pro pokrytí potřeby TV v letním období, užití elektrického ohřevu. Počítáme například s užitím nových topných jednotek do stávajících nepřímotopných zásobníkových ohříváčů. Tato investice se pohybuje v řádech jednotek tisíců. Může dojít i k výměně těchto ohříváčů za nový například 1 000 l ohříváč. Zde se cena pohybuje v rozmezí 30 000 – 50 000 Kč. Hlavním kotlem PK-1 rozumíme plynový kondenzační kotel o výkonu 240 kW. Špičkový výkon PK-2 pak pokryje kotel stejné výrobní řady o výkonu 310 kW.



I objekt HD2 jsme rozdělili na 3 výtopné režimy. Kotle PK-1 budeme krýt celoroční potřebu TV. Jedná se o plynový kondenzační kotel o výkonu 100 kW. Hlavním kotlem bude PK-2 s výkonem 800 kW a špičkovým zařízením kotel PK-3 o výkonu 510 kW.



**Obr. 7.5** Krytí potřebných výkonů jednotlivými spotřebiči HD2

Spotřeby plynu, roční produkce tepla, ale i ceny jsou v tab. 7.9. O plynových kotlích nejsou na požádání dodavatele poskytnuty bližší informace.

**Tab. 7.9** Spotřeba plynu jednotlivých kotlů

Kotel	Cena [Kč]	Výkon [kW]	Roční produkce tepla [kWh/rok]	Normovaný stupeň využití [%]	Výhřevnost [kWh/m <sup>3</sup> ]	Množství plynu [m <sup>3</sup> /rok]
PK-1-HD1	333 980	240	1 493 000	109,0	9,5	144 182
PK-2-HD1	407 040	310	226 771	109,0	9,5	21 900
PK-1-HD2	155 122	100	784 896	108,0	9,5	76 501
PK-2-HD2	553 160	800	2 876 928	109,0	9,5	277 830
PK-3-HD2	420 460	510	141 792	109,0	9,5	13 693
<b>CELKEM</b>						<b>534 105</b>

Stanovení výroby tepla jednotlivými spotřebiči pro objekt HD1 je obdobné jako v předešlé kapitole. Opět jsou zahrnuty výkony a časy a vypočítáno množství dodaného tepla (tab. 7.10.):

**Tab. 7.10** Stanovení spotřeby plynu HD1

Vstupní hodnoty potřeb tepla				PK-1		PK2		Doba provozu
Potřeba tepla na vytápění	Potřeba tepla pro TV	Potřeba tepla	Počet hodin provozu	Výkon	Množství dodaného tepla	Výkon	Množství dodaného tepla	
[kW]	[kW]	[kW]	[hod]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	[hod]
504,9	15,3	520,2	0	240,0	0	280,2	0	0
489,6	15,3	504,9	48	240,0	11 520	264,9	12 715	48
474,3	15,3	489,6	96	240,0	11 520	249,6	11 981	48
459,0	15,3	474,3	120	240,0	5 760	234,3	5 623	24
443,7	15,3	459,0	216	240,0	23 040	219,0	21 024	96
428,4	15,3	443,7	288	240,0	17 280	203,7	14 666	72
413,1	15,3	428,4	336	240,0	11 520	188,4	9 043	48
397,8	15,3	413,1	408	240,0	17 280	173,1	12 463	72
382,5	15,3	397,8	456	240,0	11 520	157,8	7 574	48
367,2	15,3	382,5	528	240,0	17 280	142,5	10 260	72
351,9	15,3	367,2	576	240,0	11 520	127,2	6 106	48
336,6	15,3	351,9	696	240,0	28 800	111,9	13 428	120
321,3	15,3	336,6	1056	240,0	86 400	96,6	34 776	360
306,0	15,3	321,3	1248	240,0	46 080	81,3	15 610	192
290,7	15,3	306,0	1560	240,0	74 880	66,0	20 592	312
275,4	15,3	290,7	1848	240,0	69 120	50,7	14 602	288
260,1	15,3	275,4	2208	240,0	86 400	35,4	12 744	360
244,8	15,3	260,1	2328	240,0	28 800	20,1	2 412	120
229,5	15,3	244,8	2568	240,0	57 600	4,8	1 152	240
214,2	15,3	229,5	2832	229,5	60 588	0,0	0	264
198,9	15,3	214,2	3240	214,2	87 394	0,0	0	408
183,6	15,3	198,9	3672	198,9	85 925	0,0	0	432
168,3	15,3	183,6	4008	183,6	61 690	0,0	0	336
153,0	15,3	168,3	4344	168,3	56 549	0,0	0	336
137,7	15,3	153,0	4632	153,0	44 064	0,0	0	288
122,4	15,3	137,7	5016	137,7	52 877	0,0	0	384
0,0	15,3	15,3	5026	15,3	0	0,0	0	0,0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
0	15,3	15,3	8 760	0,0	0	0,0	0	3 744
<b>CELKEM</b>				<b>1 065 406</b>		<b>226 771</b>		

V tab 7.11 je vypočteno množství dodaného tepla pro objekty HD2. V zápatí je uvedena ještě produkce TV.

**Tab. 7.11** Stanovení spotřeby plynu HD2

Potřeba tepla na vytápění	Potřeba tepla pro TV	Potřeba tepla	Počet hodin provozu	PK-2		PK-3		Doba provozu
				Výkon	Množství dodaného tepla	Výkon	Množství dodaného tepla	
[kW]	[kW]	[kW]	[hod]	[kW]	[kWh]	[kW]	[kWh]	[hod]
1 254,0	89,6	1 343,6	0	800,0	0	454,0	0	0
1 216,0	89,6	1 305,6	48	800,0	38 400	416,0	19 968	48
1 178,0	89,6	1 267,6	96	800,0	38 400	378,0	18 144	48
1 140,0	89,6	1 229,6	120	800,0	19 200	340,0	8 160	24
1 102,0	89,6	1 191,6	216	800,0	76 800	302,0	28 992	96
1 064,0	89,6	1 153,6	288	800,0	57 600	264,0	19 008	72
1 026,0	89,6	1 115,6	336	800,0	38 400	226,0	10 848	48
988,0	89,6	1 077,6	408	800,0	57 600	188,0	13 536	72
950,0	89,6	1 039,6	456	800,0	38 400	150,0	7 200	48
912,0	89,6	1 001,6	528	800,0	57 600	112,0	8 064	72
874,0	89,6	963,6	576	800,0	38 400	74,0	3 552	48
836,0	89,6	925,6	696	800,0	96 000	36,0	4 320	120
798,0	89,6	887,6	1056	798,0	287 280	0,0	0	360
760,0	89,6	849,6	1248	760,0	145 920	0,0	0	192
722,0	89,6	811,6	1560	722,0	225 264	0,0	0	312
684,0	89,6	773,6	1848	684,0	196 992	0,0	0	288
646,0	89,6	735,6	2208	646,0	232 560	0,0	0	360
608,0	89,6	697,6	2328	608,0	72 960	0,0	0	120
570,0	89,6	659,6	2568	570,0	136 800	0,0	0	240
532,0	89,6	621,6	2832	532,0	140 448	0,0	0	264
494,0	89,6	583,6	3240	494,0	201 552	0,0	0	408
456,0	89,6	545,6	3672	456,0	196 992	0,0	0	432
418,0	89,6	507,6	4008	418,0	140 448	0,0	0	336
380,0	89,6	469,6	4344	380,0	127 680	0,0	0	336
342,0	89,6	431,6	4632	342,0	98 496	0,0	0	288
304,0	89,6	393,6	5016	304,0	116 736	0,0	0	384
0,0	89,6	0,0	5026	0,0	0	0,0	0	0,0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
0	89,6	0	8 760	0,0	0	0,0	0	3 744
			[kW] [hod]	<b>CELKEM 2 876 928</b>		<b>141 792</b>		
PK-1			89,6 3 744	<b>335 462</b>				

### 7.3.2 Dopady návrhu na energetickou bilanci

Spotřeba tepla bude rovna případu z kapitoly 7.2. Zemního plynu se spotřebuje více, viz tab. 7.9 a naroste i cena za elektrickou energii pro letní ohřev TV v objektu HD1 o 57 283 kWh. Nové rozložení cen a energií:

- Teplo 464 Kč/GJ 28 370 GJ 13 163 680 Kč
- Zemní plyn 10 Kč/m<sup>3</sup> 785 936 m<sup>3</sup> 7 859 360 Kč
  - změny v ekologické dani pro ZP [31]
    - odpočet za KJ  $786 \text{ MWh} \cdot 30,60 \text{ Kč} = 24\,021 \text{ Kč}$
- Elektrická energie 2,50 Kč/kWh 9 765 283 kWh 24 413 208 Kč

Celkové roční náklady činí 45 412 227 Kč a roční úspora je 4 030 213 Kč. Při stanovování dlouhodobější bilance musíme brát v úvahu životnost plynových kotlů.

### 7.3.3 Pořízení zdrojů

Pořizovací ceny jsou převzaty z výše uvedené tab. 7.10, instalační náklady opět volíme 10 % z pořizovací ceny. Instalace nového plynovodu je opět nutná.

- Pořizovací náklady
  - cena za plynové kotle (včetně DPH) 2 243 714 Kč
  - instalační náklady 356 514 Kč
  - elektrický ohřívač 1 000 l 40 000 Kč
  - nový plynovod 1 281 429 Kč
- Provozní náklady
  - Revize kotlů 50 000 Kč

$$\text{Prostá návratnost} = \frac{3\,971\,657}{4\,030\,213} = \mathbf{1,0 \text{ rok}}$$

## 8 NÁVRH POKRYTÍ CELÉ POTŘEBY TEPLA VČETNĚ TEPLA PRO CHLAZENÍ

Protože nemáme dostatek informací o potřebách chladu výstaviště, budeme postupovat obdobně jako v předchozích kapitolách. Nejprve si stanovíme roční diagram trvání potřeby tepla na vytápění pro celé výstaviště. Poté ho doplníme o požadavky na teplo pro letní chlazení.

### 8.1 Určení diagramu trvání potřeby tepla pro tepelné zásobování

Pro stanovení průměrného součinitele měrné tepelné ztráty si opět sestavíme tabulku s měsíčními spotřebami. Postup výpočtu je stejný jako v kapitole 7.2. Zde je vzor lednových hodnot:

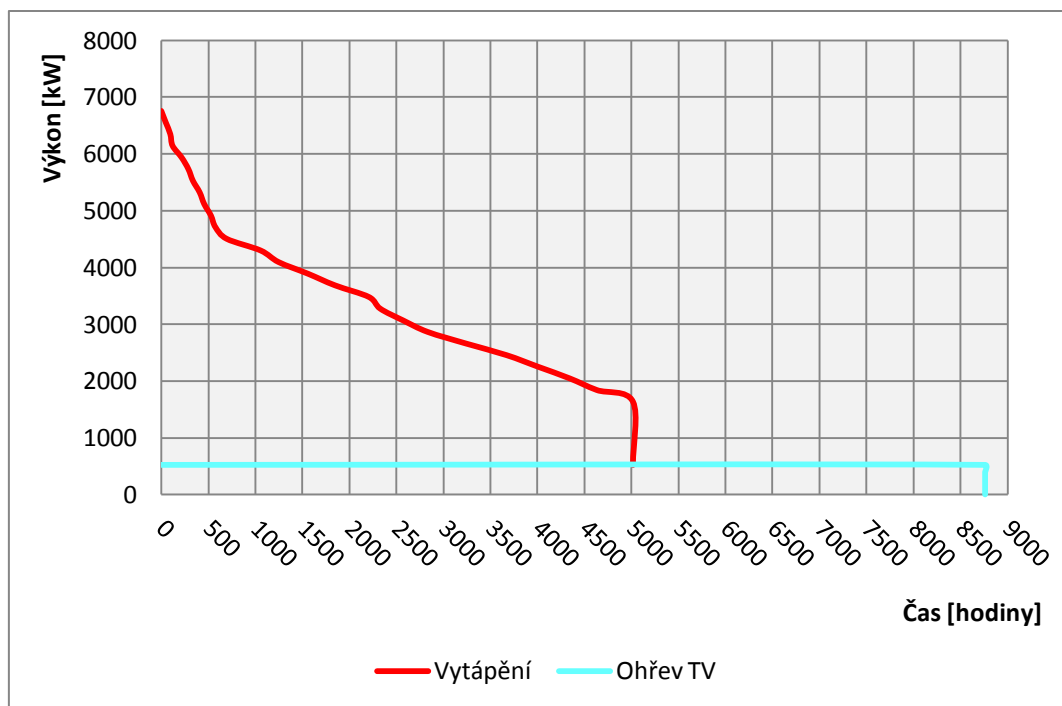
- spotřeba tepla (pára + plyn) v lednu kWh 2 918 307
- denní spotřeba kWh/den 94 139
- maximální výkon leden kW 3 922
- měrná ztráta prostupem kW/K 202,3

**Tab. 8.1** Stanovení měrné tepelné ztráty pro celý areál

Měsíc	Počet topných dní (2016)	Spotřeba tepla na vytápění		Denní spotřeba tepla	Nutný výkon zdroje	$\Delta T$	$H_T$
		[GJ]	[kWh]	[kWh/den]	[kW]	[°C]	[kW/K]
Leden	31	10 506	2 918 307	94 139	3 922	19,39	202,3
Únor	29	10 300	2 861 052	92 292	3 845	14,21	270,6
Březen	31	8 865	2 462 380	79 432	3 310	13,67	242,2
Duben	28	4 348	1 207 842	38 963	1 623	9,88	164,3
Květen	11	2 535	704 277	22 719	947	3,05	310,9
Červen	0	0	0	0	0	3,01	0,0
Červenec	0	0	0	0	0	-2,45	0,0
Srpen	0	0	0	0	0	-0,07	0,0
Září	4	1 405	390 186	12 587	524	4,78	109,8
Říjen	23	5 094	1 414 883	45 641	1 902	11,68	162,9
Listopad	30	9 403	2 611 967	84 257	3 511	15,42	227,7
Prosinec	31	8 199	2 277 514	73 468	3 061	18,82	162,7

$$H_{TP} = \frac{\sum H_T}{\sum \text{zimní měsíce}} = 204,7 \text{ kW} \cdot \text{K}^{-1}$$

Z předchozích kapitol jsme získali údaj o spotřebě TV – 16 499 GJ tj. 4 583 055 kWh ročně. Potřebný výkon na TV je při 8 760 hodinách tedy 523,2 kW. Roční diagram trvání potřeby tepla na vytápění a ohřev TV pro celé výstaviště je na obr. 8.1.



Obr. 8.1 Roční diagram trvání potřeby tepla na vytápění a ohřev TV

## 8.2 Návrh ročního průběhu potřeby chlazení

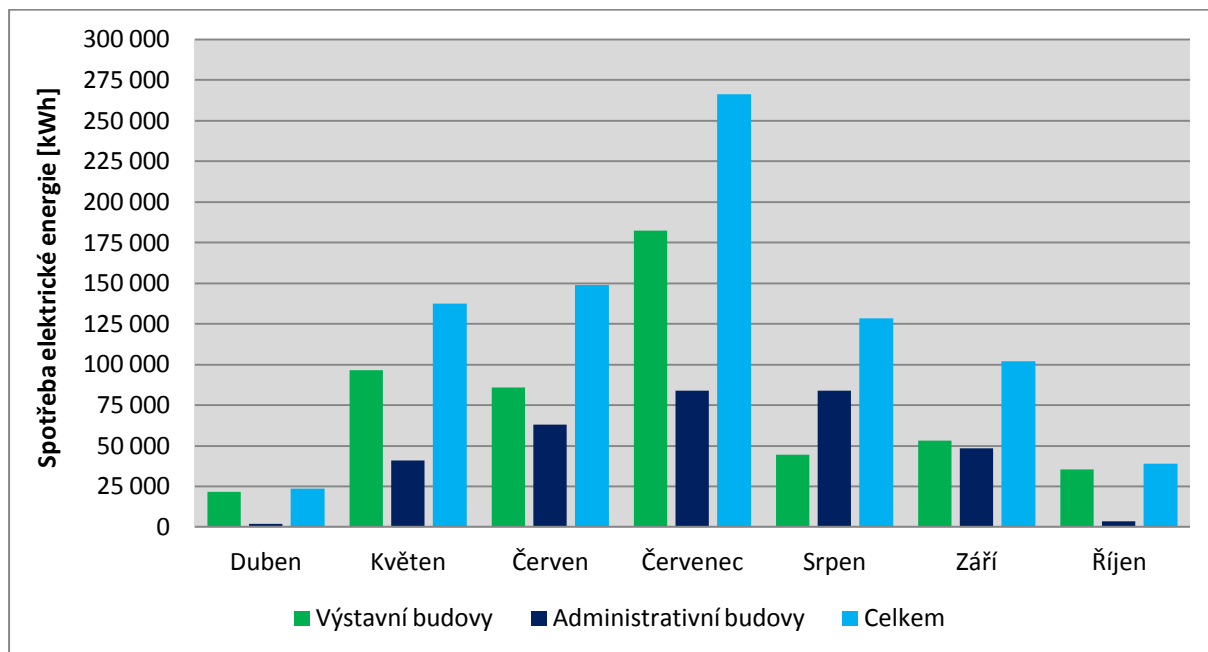
Budeme pracovat pouze s poskytnutými daty o instalovaných výkonech chlazení. Navyšování výkonu ani jinou optimalizaci neuvažujeme. Tato metoda může být v některých fázích roku nepřesná. Pro přesnější stanovení bychom potřebovali přesnější údaje o tepelných ziscích, popřípadě ročních spotřebách na chlad.

Počet hodin, kdy budeme chladit je stanoven podle normy ČSN 73 0548. Jedná se o výpočet teoretického rozložení teploty v průběhu dne. Chlazení bude spouštěno, když teplota překoná hranici 21 °C. Nebudeme uvažovat celodenní průběhy ale pouze do 18:00. Poté již nepředpokládáme, že by došlo v areálu k maximálnímu vytížení chladicí soustavy. Za období duben – říjen se tedy, podle této úvahy, jedná o dodávku 1 684 hodin.

V areálu je však specifický provoz. Podle počtu dní vytížení v letních měsících, jsme stanovili počet hodin potřeby chladu na 1 591. Průběh výkonů je v časových intervalech různý. Uvažujeme, že se konstantně klimatizuje pouze budova A3, AB a pavilon O, kde se nachází knihovna. Ostatní průběhy potřeb jsou stanoveny podle hodin (dle výše uvedené ČSN 73 0548), kdy se užívá daný objekt a pomocí instalovaných chladicích výkonů těchto jednotek. Počet dní je stanoven z kalendáře energetického odboru BVV.

### 8.2.1 Doba chlazení v jednotlivých budovách

Z plánovacího kalendáře pro rok 2017, který se o mnoho neliší od roku 2016, jsme odečetli počet dní, kdy bude areál využíván. Pro letní měsíce (od poloviny dubna do poloviny října), kdy se uvažuje s chlazením je stanovena odhadovaná spotřeba na obr. 8.2, jedná se o chlazení administrativních prostor, ostatních objektů a celková.



**Obr. 8.2** Možná spotřeba elektrické energie pro potřeby chlazení

**Tab. 8.2** Provoz jednotlivých objektů

Objekt	Počet hodin s teplotou nad 21 °C						
	4	5	6	7	8	9	10
A1		56	9			48	42
A2		16	27			48	36
Rotunda		24	9			18	30
B	24	48	36	30			30
C		16	18	30		32	30
E		64				40	30
F	24	40	36	50	30		30
G1	24	48		50	10		36
G2	8	24		30			36
H		32	45				12
P	36	40	45	30	30		36
V	42	32	18	50	10	16	36
Z	48	72	45	30	10		36
AB	40	160	180	200	200	160	60
A3	40	160	180	200	200	160	60
O	40	160	180	200	200	160	60

Konstantní potřebu chladu máme v administrativních prostorách AB a A3 a v knihovně která se nachází v pavilonu O. Instalované chladicí výkony v jednotlivých uvažovaných objektech jsou výše, v tab. 5.7. Počet hodin využití jednotlivých objektů je v tab. 8.2.

Počty hodin v měsíci byly přepočteny do tab. 8.2 tak, abychom se dostali přesně k využívání objektů na rovnocenných výkonových hladinách. A mohli jsme tedy bezpečně násobit dobu provozu se současnými chladicími výkony. Při stanovení výkonů

v jednotlivých měsících byla zohledněna výpočtová teplota podle normy ČSN 73 0548:

- duben 22,0 °C
- květen 26,5 °C
- červen 28,5 °C
- červenec 30,0 °C
- srpen 30,0 °C
- září 27,5 °C
- říjen 23,5 °C

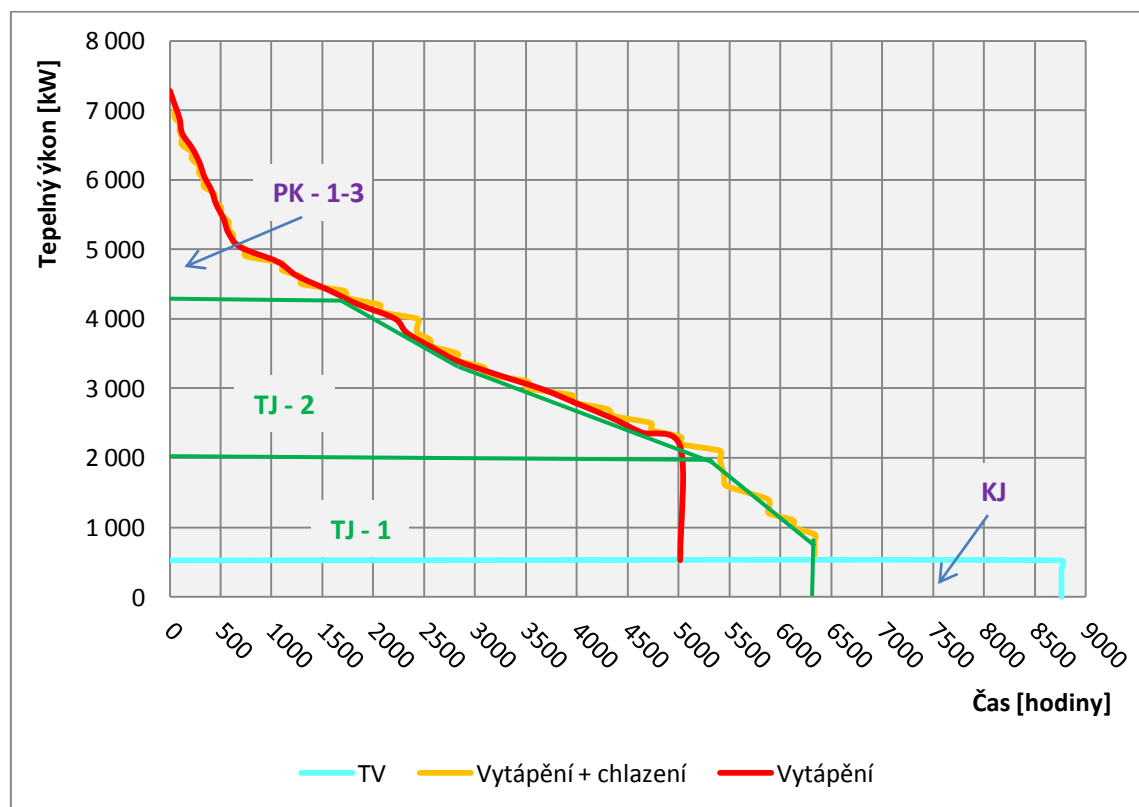
Pomocí této normy je také stanoven počet hodin v jednotlivých měsících (tab. 8.3), kdy teplota teoreticky může překročit hodnotu 21 °C (s přihlédnutím k provozu do 18:00).

**Tab. 8.3** Počty hodin s překročením stanovené teploty

Měsíc	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
Počet hodin	4	8	9	10	10	8	6

### 8.2.2 Diagram trvání potřeby tepla

Na základě výše uvedených parametrů byly stanoveny výkonové hladiny a počet hodin pro každou tuto hladinu. Roční diagram je na obr. 8.4. V tab. 8.4 jsou uvedeny výkony a hodinová potřeba jak pro potřebu chladu, tak pro potřebu tepla. Ještě je nutné upřesnit, že musíme přepočítat požadovaný chladicí výkon na výkon tepelný. COP faktor je stanoven na 0,7 (kapitola 8.2.4).



**Obr. 8.4** Roční diagram trvání potřeby tepla na vytápění, chlazení a TV



**Tab. 8.4** Počty hodin a jednotlivé výkony

Tepelný výkon pro vytápění+chlazení+TV [kW]	Počet hodin pro vytápění	Počet hodin pro chlazení	Celkový počet hodin	Tepelný výkon pro vytápění+chlazení+TV [kW]	Počet hodin pro vytápění	Počet hodin pro chlazení	Celkový počet hodin
		[hod]				[hod]	
7000	48	0	48	3400	2568	257	2825
6900	48	0	48	3300	2832	257	3089
6800	96	0	96	3200	2832	267	3099
6700	96	0	96	3100	3240	275	3515
6600	120	0	120	3000	3240	275	3515
6500	120	0	120	2900	3672	283	3955
6400	216	0	216	2800	3672	291	3963
6300	216	0	216	2700	4008	291	4299
6200	288	0	288	2600	4008	357	4365
6100	288	0	288	2500	4344	381	4725
6000	336	0	336	2400	4344	389	4733
5900	336	0	336	2300	4632	389	5021
5800	408	0	408	2200	4632	389	5021
5700	408	30	408	2100	5016	389	5405
5600	456	48	456	2000	5016	389	5405
5500	456	48	456	1900	5016	397	5413
5400	528	48	456	1800	5016	421	5437
5300	528	48	456	1700	5016	429	5445
5200	576	48	456	1600	5016	446	5462
5100	576	48	624	1500	5016	655	5671
5000	696	48	744	1400	5016	863	5879
4900	696	48	744	1300	5016	872	5888
4800	1056	48	1104	1200	5016	872	5888
4700	1056	48	1104	1100	5016	1108	6124
4600	1248	48	1296	1000	5016	1108	6124
4500	1248	48	1296	900	5016	1316	6332
4400	1560	156	1716	800	5016	1316	6332
4300	1560	186	1746	700	5016	1316	6332
4200	1848	216	2064	600	5016	1316	6332
4100	1848	216	2064	500	5016	1316	6332
4000	2208	225	2433	400	5016	1476	6492
3900	2208	225	2433	300	5016	1515	6531
3800	2208	225	2433	200	5016	1539	6555
3700	2328	225	2553	100	5016	1591	6607
3600	2328	257	2585	TV		523	0
3500	2568	257	2825			523	8760

Rozvržení krytí tepelného výkonu je následující:

- KJ QUANTO D500 556 kW
- TJ-1,2 QUANTO D2000  $2 \times 2\,154\text{ kW}$
- PK-1,2,3 Plynový kondenzační kotel  $3 \times 1\,000\text{ kW}$

### 8.2.3 Stanovení výkonů a spotřeb pro nová zařízení

Vybrané jednotky jsou v tab. 8.5.

Tab. 8.5 Vybrané jednotky [30]

Objekt	Jednotka	KJ	TJ-1	TJ-2
Provozní hodiny	hod	2 428	5 016	5 016
Tepelný výkon KJ	[kW]	523,0	2 154,0	2 154,0
<b>Zvolená KJ</b>		<b>QUANTO D500</b>	<b>QUANTO D2000</b>	
Jmenovitý elektrický výkon KJ	[kW]	515,0	2 000,0	2 000,0
Maximální tepelný výkon	[kW]	556	2154	2154
Teplárenský modul	[-]	0,93	0,93	0,93
Elektrická účinnost	[%]	43,2	43,7	43,7
Tepelná účinnost	[%]	46,6	47,1	47,1
Celková účinnost	[%]	89,8	90,8	90,8
Příkon v palivu	[kW]	1192	4577	4577
<b>Max. výroba el. energie</b>	<b>[kWh]</b>	<b>1 176 204</b>	<b>10 032 000</b>	<b>10 032 000</b>
Spotřeba plynu	[m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ]	119,63	459,36	459,36

Co se týká stanovení spotřeb plynu jak u jednotlivých jednotek, tak u plynových kotlů, postup je obdobný jako ve výše uvedených kapitolách. Jelikož se nejedná o konstantní průběh, vzali jsme jednotlivé výkony a časy a stanovili jsme, kdy bude daný zdroj v provozu. V tab. 8.6 vidíme potřebný tepelný výkon, časovou potřebu a poté výkon zařízení **P** a množství tepla vyrobeného za daný časový úsek **Q<sub>vyr.</sub>**

Chybí doplnit údaje pro ohřev TV. To zajišťuje KJ a vyrobí tím 1 255 MWh elektrické energie. Pracuje ve zbytku roku a to 2 460 hodin s tepelným výkonem 523,2 kW.

**Tab. 8.6** Vytápění a chlazení areálu

Tepelný výkon Čas	TJ-1		TJ-2		PK-1		PK-2		PK-3	
	P	Q <sub>vyr</sub>	P	Q <sub>vyr</sub>	P	Q <sub>vyr</sub>	P	Q <sub>vyr</sub>	P	Q <sub>vyr</sub>
	[kW]	[hod]	[kW]	[MWh]	[kW]	[MWh]	[kW]	[MWh]	[kW]	[MWh]
7 278	0		2 154	0	2 154	0	1 000	0	1 970	0
7 074	48		2 154	103	2 154	103	1 000	48	1 766	85
6 869	48		2 154	103	2 154	103	1 000	48	1 561	75
6 664	24		2 154	52	2 154	52	1 000	24	1 356	33
6 460	96		2 154	207	2 154	207	1 000	96	1 152	111
6 255	72		2 154	155	2 154	155	1 000	72	947	68
6 050	48		2 154	103	2 154	103	1 000	48	742	36
5 845	72		2 154	155	2 154	155	1 000	72	537	39
5 641	48		2 154	103	2 154	103	1 000	48	333	16
5 436	72		2 154	155	2 154	155	1 000	72	128	9
5 231	48		2 154	103	2 154	103	923	44	0	0
5 027	120		2 154	258	2 154	258	719	86	0	0
4 822	360		2 154	775	2 154	775	514	185	0	0
4 617	192		2 154	414	2 154	414	309	59	0	0
4 413	312		2 154	672	2 154	672	105	33	0	0
4 208	288		2 154	620	2 054	591	0	0	0	0
4 003	360		2 154	775	1 849	666	0	0	0	0
3 798	120		2 154	258	1 644	197	0	0	0	0
3 594	240		2 154	517	1 440	346	0	0	0	0
3 389	264		2 154	569	1 235	326	0	0	0	0
3 184	408		2 154	879	1 030	420	0	0	0	0
2 980	432		2 154	931	826	357	0	0	0	0
2 775	336		2 154	724	621	209	0	0	0	0
2 570	336		2 154	724	416	140	0	0	0	0
2 366	288		2 154	620	212	61	0	0	0	0
2 161	384		2 154	827	7	3	0	0	0	0
0	0		0	0	0	0	0	0	0	0
<b>CELKEM</b>			<b>10 804</b>		<b>6 675</b>		<b>936</b>		<b>470</b>	<b>87</b>

#### 8.2.4 Volba absorpční chladicí jednotky

Pro požadovaný maximální chladicí výkon 4 500 kW jsme zvolili dvě jednotky o parametrech:

- Chladicí výkon                      kW                      2 558
- Chlazená voda                      m<sup>3</sup>/hod                      251
- Chladicí voda                      m<sup>3</sup>/hod                      462

• Spotřeba TV	m <sup>3</sup> /hod	231
• Příkon	kW	13,9
• Pracovní teploty	°C	98/88

Tepelný výkon ABSCHJ:

$$Q_T = \frac{V_{sTV} \cdot \rho_{vody} \cdot (i_2 - i_1)}{3\,600} = \frac{462 \cdot 962 \cdot (411,3 - 364,4)}{3\,600} = 5\,803 \text{ kW} \quad (8.1)$$

kde

$Q_T$	[kW]	tepelný výkon
$V_{sTV}$	[m <sup>3</sup> /hod]	objemový průtok spotřebovávané teplé vody
$i_{2,1}$	[kJ/kg]	měrná entalpie (2 – vstup, 1 – výstup)

Tento tepelný výkon je v maximálním možném využívání areálu a bude kryt TJ-1,2 a může být doplněn i PK. Teplota vody z KJ bude muset být upravena například užitím ohřevu pomocí spalín. Využití teplé vody z horkovodu v letních měsících není možné pro její nízkou teplotu 70/50 °C, zde by se musel navrhnout příhřev.

Pro celkové zhodnocení navrhujeme ještě chladicí věž, požadovaný výkon je:

• Pracovní teploty	°C	37/30
--------------------	----	-------

$$Q_{CHV} = \frac{\dot{V}_{chladicí\ vody} \cdot \rho_{vody} \cdot (i_1 - i_2)}{3\,600} = \frac{1\,233 \cdot 994 \cdot (154,8 - 125,2)}{3\,600} = 10\,077 \text{ kW}$$

Zvolena byla chladicí věž o výkonu 2 600 kW. O elektrickém příkonu 19 kW, s odparem vody 1 l/s. Její cena je přibližně 550 000 Kč a bude umístěna 4×.

Stanovení nákladů na odpar:

Pro výpočet nákladů na vodu v chladicí věži si nejprve určíme za jak dlouho si vyrobíme 1 MWh chladu (8.2). Poté množství odpařované vody (4 věže, rovnice 8.3) a vynásobíme cenou vody za kubík. Cena za odpar  $O$ , se pak rovná množství chladu vynásobené touto hodnotou.

$$t_{chv} = \frac{1 \text{ MWh}}{Q_{ch}} = \frac{1\,000}{4\,092} = 0,2444 \text{ hod} \quad (8.2)$$

$$O = 4 \cdot 3600 \cdot t_{chv} = 4 \cdot 3600 \cdot 0,2444 = 3,52 \text{ Kč} \cdot \text{MWh}_{chladu}^{-1} \quad (8.3)$$

$$n = O \cdot n_j = 3,52 \cdot 80 = 282 \text{ Kč} \cdot \text{MWh}_{chladu}^{-1} \quad (8.4)$$

Celkové množství vyrobené tepelné energie v TJ je 17 479 MWh + KJ na TV po zbytek sezóny dodává 1 255 MWh. V kotlích je vyrobeno 1 493 MWh. Celkově tedy 2 030 025 m<sup>3</sup>.

Spotřeba elektrické energie je 22 240 kWh v absorpční jednotce + 30 400 kWh v chladicí věži. Výroba elektrické energie při špičkovém vytápění přesahuje potřeby výstaviště, musíme elektrickou energii do sítě prodávat. Tepelná výroba TJ-1 + TJ-2 je 19 348 MWh. Elektrické energie se ročně vyrobí 19 160 MWh.

Garanci výkupních cen má dle zákona 165/2012 Sb. výrobce spadající do 5 MW<sub>e</sub>. Z cenového rozhodnutí pro rok 2015 známe výši zeleného bonusu a to pro garantovaných 4 400 hodin výkonu 2 MW<sub>e</sub>, částka je 405 Kč/MWh. [33] Nové rozdělení cenové zátěže:

- Zemní plyn
 

10	Kč/m <sup>3</sup>	2 284 834	m <sup>3</sup>	22 848 340	Kč
----	-------------------	-----------	----------------	------------	----

  - změny v ekologické dani pro ZP [31]
    - odpočet za KJ
 

18 734	MWh	· 30,60	Kč	= 573 260	Kč
--------	-----	---------	----	-----------	----
- Elektrická energie
  - Uvažujme část roku, kdy běží pouze KJ na TV (2 460 hodin). V této části roku budeme určitě nakupovat elektřinu.
  - Spotřeba
 

2,50	Kč/kWh	2 413 240	kWh	6 033 101	Kč
------	--------	-----------	-----	-----------	----
  - Výroba
 

405	Kč/MWh	19 160	MWh	7 759 800	Kč
-----	--------	--------	-----	-----------	----

Celkové roční náklady činí 20 548 381 Kč. Roční úspora je 28 894 059 Kč. Další náklady:

- |                          |        |     |               |
|--------------------------|--------|-----|---------------|
| • Pořizovací náklady     |        |     |               |
| ○ cena za KJ             |        |     | 54 000 000 Kč |
| ○ cena za plynové kotle  |        |     | 2 857 440 Kč  |
| ○ cena za ABSCH jednotku |        |     | 30 000 000 Kč |
| ○ cena za chladicí věže  |        |     | 2 200 000 Kč  |
| ○ instalační náklady     |        |     | 9 634 878 Kč  |
| ○ nový plynovod          |        |     | 780 000 Kč    |
| • Provozní náklady       |        |     |               |
| ○ Údržba                 |        |     | 6 706 000 Kč  |
| ○ Voda do chladicí věže  | 12 015 | MWh | 3 388 230 Kč  |

Jedná se o KJ velkých výkonů proto náklady na údržbu stanoveny  $\rightarrow 0,35 \text{ Kč/kWh}_e$ .

$$\text{Prostá návratnost} = \frac{105\,983\,658}{18\,799\,829} = \mathbf{5,7 \text{ let}}$$

## 9 NÁVRH MOŽNÉHO ZAPOJENÍ DÍLČÍCH ZDROJŮ VYUŽÍVAJÍCÍCH OZE

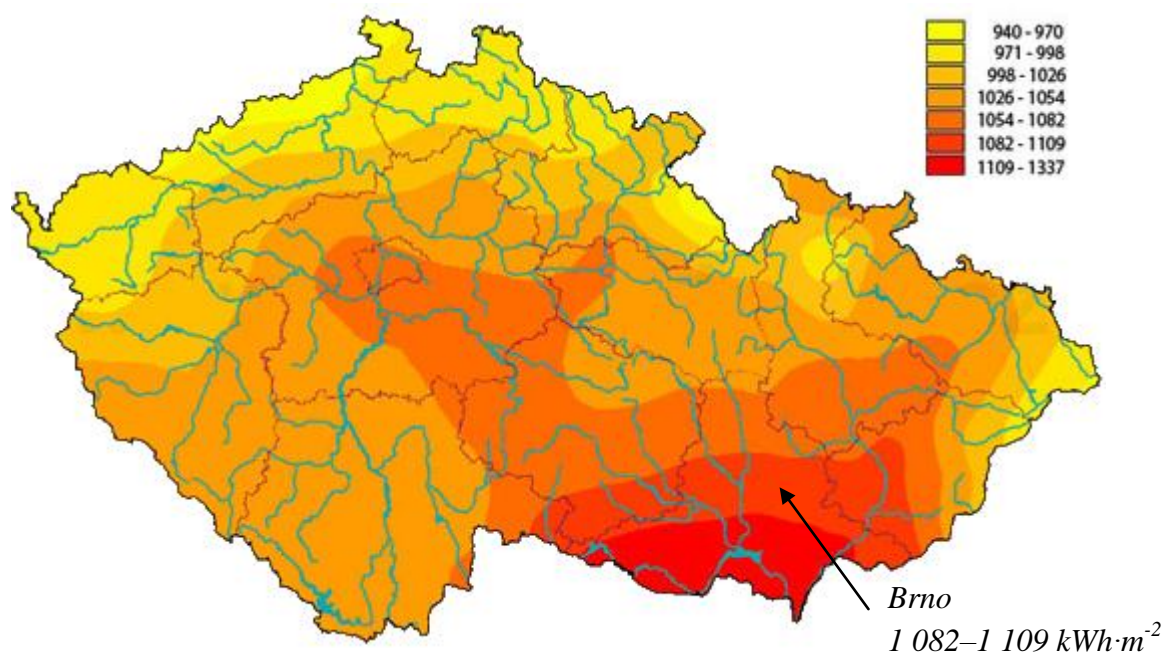
Rozlehlý, nezastíněný areál s nevyužitou střešní plochou nabízí možnost instalace panelů využívajících solární energii. Vzhledem k vysoké spotřebě elektrické energie budeme uvažovat s instalací fotovoltaických článků.

Nejvýhodnějším pavilonem na tuto aplikaci volím pavilon E. Střecha je rozlehlá a rovná. Navrhujeme tedy solární systém na tuto střechu a poté se ještě zamyslíme nad možností rozšíření tohoto systému i na další možné střechy.

### 9.1 Fotovoltaika na střeše pavilonu E

#### 9.1.1 Základní informace pro návrh

Česká republika se nachází na 49. severní rovníčce. Pro toto území je charakteristická intenzita dopadajícího záření okolo 900 – 1300 kWh/m<sup>2</sup> viz obr. 9.1.



Obr. 9.1 Sluneční intenzita na území ČR v kWh·m<sup>-2</sup> [34]

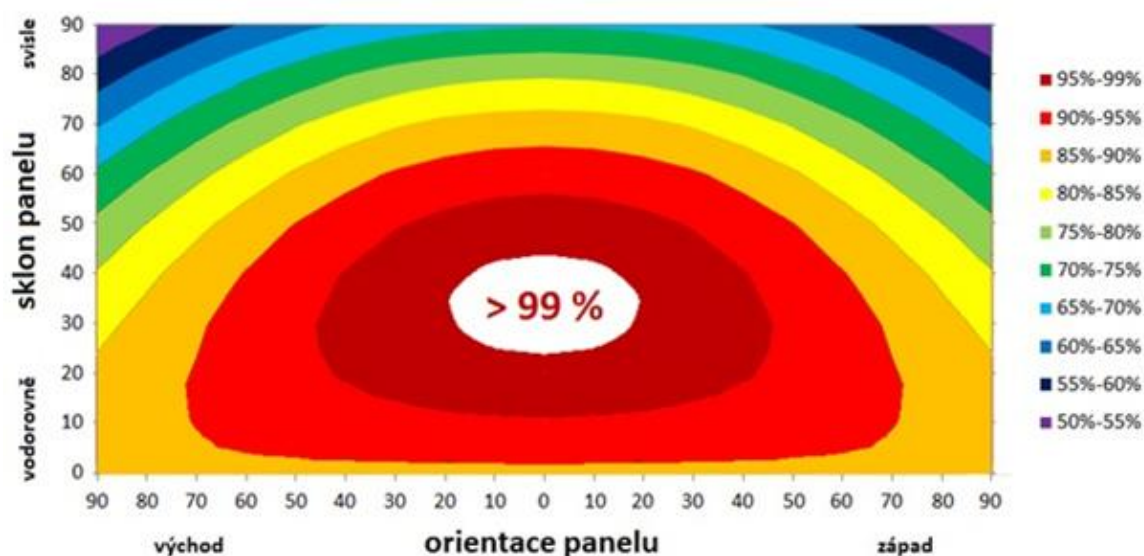
Výstaviště leží v městské části Brno – Pisárky. GPS souřadnice: 49.1877267N, 16.5822644E. Ke stanovení intenzity pro danou lokalitu použijeme program PVGIS. [35]

#### 9.1.2 Využitelná plocha

Z celkové střešní plochy pavilonu E (cca 6 900 m<sup>2</sup>) je využitelných cca 2 250 m<sup>2</sup>. Zbytek jsou nerovné části, popřípadě vedení vzduchotechniky.

Volba sklonu závisí na využitelnosti slunečního záření. Vhodné sklony jsou na diagramu (obr. 9.2). Zvoleny byly panely SHARP NU-RD285-BLACK pro svůj vyšší jednotkový výkon. [36]

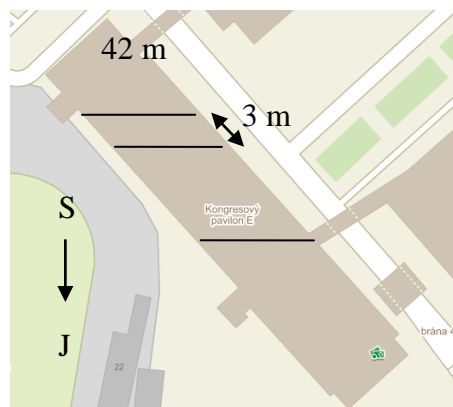
- maximální výkon  $W_p$  285
- plocha mm  $1\,660 \times 990 \times 50$
- typ monokrystal. Křemík
- účinnost % 17,3
- cena Kč/ks 7 985



**Obr. 9.2** Závislost výnosu energie na sklonu a orientaci panelu [37]

Pro rovinnou střechu se dá uvažovat umístění vodorovně. To však nemá samočisticí vlastnost. Proto navrhujeme umístit panely na kovovou nosnou konstrukci se sklonem  $35^\circ$ . Pro maximální využití uvažujeme s jižní orientací, tedy přibližně pod úhlem  $45^\circ$  vůči delší hraně budovy. Minimální vzdálenost mezi jednotlivými řadami volíme tak, aby nedocházelo k vzájemnému zastínění. V neposlední řadě musíme nechat přepočítat, zda střecha pavilonu zvládne nové zatížení.

- využitelná plocha  $30 \times 75$  m
- maximální délka jedné řady 42 m
- vzdálenost řad 2 120 mm
- počet panelů v jedné řadě 24 ks



**Obr. 9.3** Pavilon E  
[www.mapy.cz]

- počet řad 15
- počet panelů
  - v pravidelných řadách 360 ks
  - v krajních polohách 206 ks
  - celkem 566 ks
- maximální výkon 161,3 kW<sub>p</sub>
- cena za panely 4 519 510 Kč
- celková plocha panelů 930 m<sup>2</sup>

Nyní zadáme do programu PVGIS [35] vstupní parametry a zjistíme roční výnos energií. Výstup je v tab. 9.1 a průběh měsíční produkce na obr. 9.4.

**Tab. 9.1** Množství získané energie ze slunečního svitu v dané lokalitě [35]

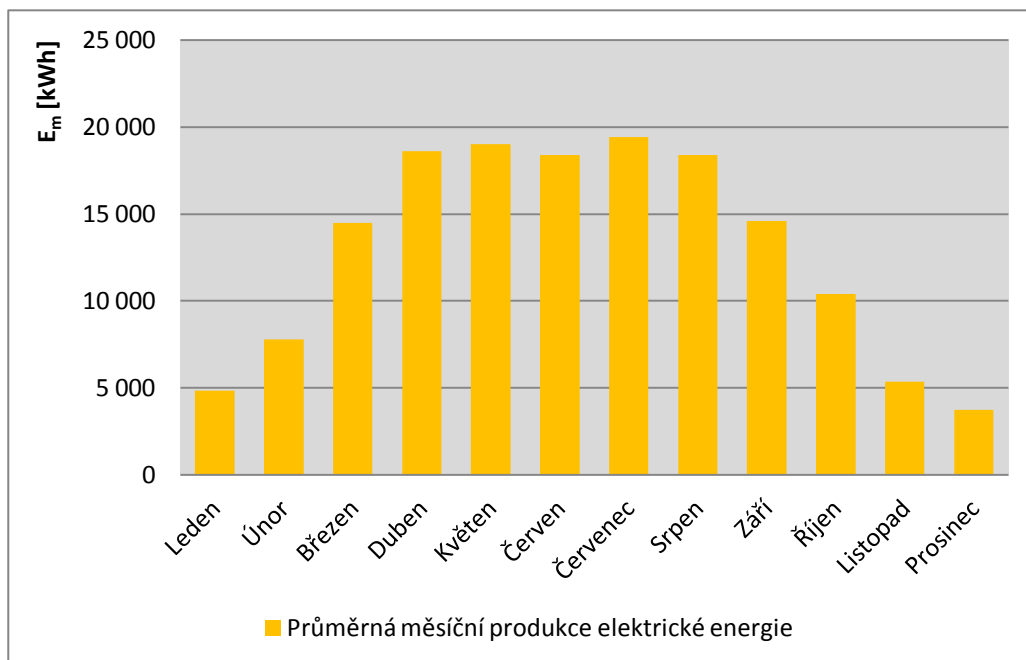
Měsíc	E <sub>d</sub> [kWh]	E <sub>m</sub> [kWh]	H <sub>d</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	H <sub>m</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]
Leden	157	4 860	1,2	37,2
Únor	278	7 790	2,2	60,2
Březen	469	14 500	3,8	117,0
Duben	621	18 600	5,2	157,0
Květen	611	19 000	5,3	163,0
Červen	614	18 400	5,4	161,0
Červenec	624	19 400	5,5	172,0
Srpen	593	18 400	5,2	162,0
Září	486	14 600	4,1	124,0
Říjen	335	10 400	2,7	84,7
Listopad	179	5 380	1,4	42,5
Prosinec	121	3 740	0,9	28,7
Roční průměr	425	12 900	3,6	109,0
<b>Celkem</b>	<b>155 000</b>		<b>1310</b>	

Použité zkratky v tabulce:

- E<sub>d</sub> průměrný denní zisk elektrické energie
- E<sub>m</sub> průměrný měsíční zisk elektrické energie
- H<sub>d</sub> průměrný denní součet intenzity záření na metr čtvereční
- H<sub>m</sub> průměrný měsíční součet intenzity záření na metr čtvereční



Celkově bychom měli být schopni vyrobit ročně 155 000 kWh elektřiny. Jedná se o zařízení s výkonem větším než 100 kW. Ze zákona je takové zařízení povinné mít zřízený dispečerský provoz. To by se na výstavišti dalo realizovat v rámci energetického odboru.



Obr. 9.4 Průměrná měsíční produkce elektrické energie ze slunečního záření

### 9.1.3 Dopady na energetickou bilanci a pořízení zdrojů

Změna se týká elektrické energie. Jsme relativně schopni pokrýt spotřebu 131 000 kWh. Kontrola toho, zda nezískáváme v létě větší výkon, než potřebujeme, proběhla. Nově:

- Elektrická energie 2,50 Kč/kWh 155 000 387 500 Kč

Roční úspora může dosáhnout částky 387 500 Kč.

Pro FVE o výkonech větších než 30 kW se neposkytují zelené bonusy. Elektřina bude využita celá v areálu. Musíme pořídit pouze měnič napětí. Dle zákona 458/2000 Sb. musí mít zařízení větší než 100 kW své vlastní dispečerské řízení. To by se dalo například připojit k již stávající energetické kanceláři, čímž by nevznikly vícenáklady.

- Pořizovací náklady
  - cena SOLARWATT M230-96 (566 × 12 490) 4 519 510 Kč
- instalační náklady (včetně měniče) 451 951 Kč

$$\text{Prostá návratnost} = \frac{4\,971\,461}{387\,500} = 12,8 \text{ let}$$

## 10 VYHODNOCENÍ MOŽNÝCH ÚPRAV ENERGETICKÉHO HOSPODÁŘSTVÍ

Vyhodnocení vhodnosti jednotlivých navrhovaných úprav proběhne podle ukazatele prosté návratnosti. Jistou změnou je již ve městě realizovaný přechod CZT z parovodního vedení na horkovodní. Zatím není jasné, kdo, a jakým podílem, bude hradit náklady na rekonstrukci parovodu v areálu. Uvažujme tedy s plným krytím platby společností BVV, a. s.

Shrňme si nyní další možné návrhy na úpravy:

- A. Úpravy v rámci celého areálu
  - KJ na krytí potřeby TV
  - KJ doplněná o absorpční chladicí jednotku
- B. Dílčí úpravy v části areálu
  - KJ pro ohřev TV v jednotlivých objektech, kde trvá celoroční potřeba
  - KJ pro objekty s nejvyšší a nejdéle trvající potřebou tepla
  - Plynový kotel pro objekty s nejvyšší a nejdéle trvající potřebou tepla
- C. Dílčí úprava v části areálu využívající OZE
  - Fotovoltaické panely na velké střešní ploše pavilonu E

V tab. 10.1 jsou tyto návrhy zobrazeny včetně investičních nákladů, ročních úspor a prosté návratnosti.

**Tab. 10.1** Návratnost investic

<i>Umístění</i>	<i>Úprava</i>	<i>Kapitola</i>	<i>Roční úspora</i> [Kč]	<i>Investice</i> [Kč]	<i>Návratnost</i> [roky]
Celý areál	Horkovod	6.2	2 299 767	25 410 000	<b>11,0</b>
	KJ - TV	6.3	5 891 860	35 912 800	<b>6,1</b>
	TJ	8	18 799 829	105 983 658	<b>5,7</b>
Části areálu	KJ - TV	7.1	2 209 674	15 038 429	<b>6,9</b>
	KJ - topení	7.2	8 891 880	12 242 775	<b>1,4</b>
	PK - topení	7.3	4 030 213	3 971 657	<b>1,0</b>
Části areálu včetně OZE	Fotovoltaika	9.1	387 500	4 969 510	<b>12,8</b>

Podrobněji si probereme nevyhnutelnou investici – instalaci horkovodu. Dalšími vhodnými a realizovatelnými úpravami se jeví provedení změn v dílčích částech areálu. Realizovatelnou možností je tedy instalace KJ či plynových kotlů v částech HD1, HD2.

Ostatní návrhy nejsou vesměs reálné. To je způsobeno vysokými investičními náklady (celé zásobování teplem + chladem, ohřev TV), legislativou a hospodářskou politikou

města (opět vytápění celého areálu), popřípadě složitostí instalace či, malou úsporou (fotovoltaika).

## 10.1 Instalace a užívání horkovodního potrubí

Pro výše získané hodnoty provedeme ekonomickou analýzu z pohledu projektanta. Diskontní sazba pro rok 2017 je  $d = 0,05 \%$ . [38] Použijeme rovnice pro výpočet toku peněz (10.1) a diskontovaného toku peněz (10.2).

Potřebné hodnoty:

- Roční úspora (peněžní tok) 2 299 767 Kč
- Investiční náklady 25 410 000 Kč
  - z toho 2 mil. na výměnu některých VZT

$$CF = V - N_p = 0 - (-2\,299\,767) = 2\,299\,767 \text{ Kč} \quad (10.1)$$

$$DCF = CF(1 + d)^{-j} \quad (10.2)$$

Prozatím není jasné, kdo bude financovat tuto investici. Dle odhadu pracovníka tepláren by mohlo dojít k odkupu horkovodního vedení od společnosti BVV, a. s. Možná se jeví i varianta spolupodílení se obou subjektů na investici. Posouzeny jsou proto případy, kdy:

- A. Celou instalaci zaplatí BVV, a. s.
- B. BVV, a. s. získá dotaci 50 % od města
- C. Celou instalaci zaplatí Teplárny Brno, a. s.

Pokud celý přechod zaplatí teplárny, výstaviště bude hradit pouze výměnu VZT jednotek, které pracují na parním principu. Cena byla odhadnuta na 2 mil. Kč.

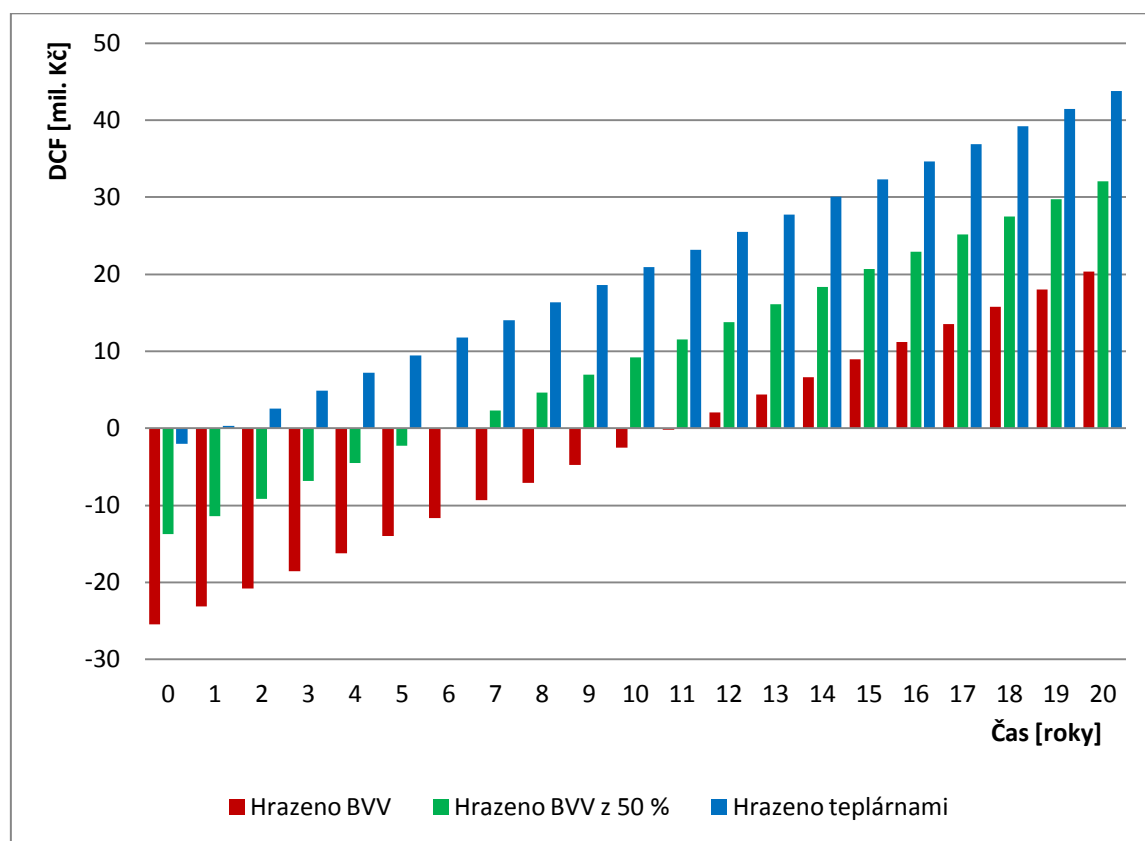
Doba splatnosti s uvažováním znehodnocování peněz (10.3):

$$T = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} \quad (10.3)$$

kde

T	[rok]	čas
T <sub>0</sub>	[rok]	čas, bez uvažování znehodnocování peněz
d	[-]	diskontní sazba

Výsledky jsou zaneseny do grafu (obr. 10.1).



**Obr. 10.1** Závislost diskontovaného toku peněz na čase z pohledu projektanta

V tabulce 10.2 je uvedena varianta, kdy celou akci zaplatí BVV, a. s. Postup pro další varianty je obdobný. Ve sloupci CF je zahrnuta přímo celková roční úspora, tj. včetně ročních provozních nákladů.

Tab. 10.12 Tok peněz s uvažováním znehodnocování měny z pohledu projektanta

Čas [roky]	Náklady [Kč]	CF [Kč]	DCF [Kč]	ΣDCF [Kč]
0	-25 410 000	-25 410 000	-25 410 000	-25 410 000
1		2 299 767	2 298 618	-23 111 382
2		2 299 767	2 297 469	-20 813 913
3		2 299 767	2 296 321	-18 517 593
4		2 299 767	2 295 173	-16 222 419
5		2 299 767	2 294 026	-13 928 393
6		2 299 767	2 292 880	-11 635 513
7		2 299 767	2 291 734	-9 343 780
8		2 299 767	2 290 589	-7 053 191
9		2 299 767	2 289 444	-4 763 747
10		2 299 767	2 288 300	-2 475 447
11		2 299 767	2 287 156	-188 291
12		2 299 767	2 286 013	2 097 722
13		2 299 767	2 284 871	4 382 593
14		2 299 767	2 283 729	6 666 322
15		2 299 767	2 282 588	8 948 909
16		2 299 767	2 281 447	11 230 356
17		2 299 767	2 280 307	13 510 663
18		2 299 767	2 279 167	15 789 830
19		2 299 767	2 278 028	18 067 858
20		2 299 767	2 276 890	20 344 747

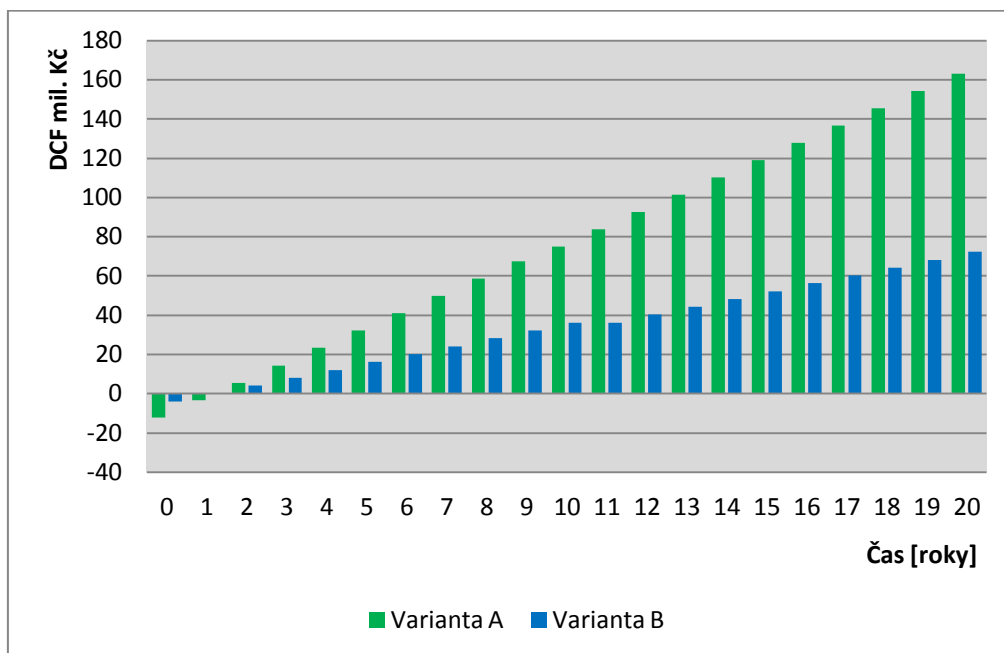
Pro variantu A je doba splatnosti s uvažováním znehodnocování peněz 11,1 let. Pro variantu B je to 6,0 let a pro variantu C činí 0,9 let. Poté se nám úspora projeví v nižších ročních nákladech na zajišťování tepla. Úspora bude ve všech případech ve stejné výši.

## 10.2 Vytápění objektů HD1 a HD2

Za stejných podmínek jako v kapitole 10.1 provedeme ekonomickou analýzu z pohledu projektanta. Porovnáme obě počítané varianty – A. užití kogenerace, B. užití plynových kotlů. Potřebné hodnoty:

- Varianta A
  - Roční úspora (peněžní tok) 8 891 880 Kč
  - Investiční náklady 12 242 775 Kč
  - Po deseti letech GO 1 500 000 Kč
- Varianta B
  - Roční úspora (peněžní tok) 4 030 213 Kč
  - Investiční náklady 3 971 657 Kč
  - Po jedenácti letech výměna kotlů 2 640 228 Kč

V grafu (obr 10.2) jsou průběhy diskontovaných toků s uvažováním znehodnocování peněz. Pro variantu A je splatnost (10.3) 1,4 roku a pro variantu B 1 rok.



**Obr. 10.2** Závislost diskontovaného toku peněz na čase z pohledu projektanta

Instalace kogeneračních jednotek do těchto objektů je sice zpočátku nákladnější, ale v průběhu let nám to přináší vyšší roční úsporu a tím pádem nižší náklady na energie. Ve výpočtu byla zahrnuta i generální oprava po 10 letech provozu KJ a výměna plynových kotlů po 11 letech.

## ZÁVĚR

Požadavky na energetické zásobování veletržního areálu jsou specifické v závislosti na způsob jeho ročního využívání. Jedná se o nárazové akce, kdy musíme zabezpečit dodávku energií. Areál je zásobován teplem a plynem. O změnách mezi jednotlivými způsoby zásobování je možné uvažovat pouze v omezené míře.

V neprospěch parovodu hovoří velké roční ztráty. Ty naštěstí poklesnou vzhledem k přechodu na horkovodní vedení. Pro zhodnocení návratnosti této akce je důležité vyjasnit si, jakým podílem budou kryty práce výstavištěm. Po provedení prací pak naskakuje každoroční úspora ve stabilní výši až do času naplnění životnosti potrubí. Ve prospěch CZT jsou fakta, že se jedná o spolehlivý a zálohovaný zdroj, proto má své opodstatnění.

Zařízení spalující plyn si vyžadují častější servis a obsluhu. Častější jsou i investiční náklady na nová zařízení. Vhodnost užití je závislá na ceně plynu. Změna ceny je pro menší odběratele více znát. Pro KJ je překážkou proměnlivý provoz areálu. Je tedy vhodnější uvažovat o menší KJ a umístit ji v místech, kde je zaručen trvalý odběr. Pro tento nevyrovnaný provoz jsou ostatní zařízení, např. plynový kotel vhodnější.

Mezi našimi návrhy dopadly nejlépe ty, které počítají s přechodem některých dílčích objektů na plyn. Dobrá návratnost byla zjištěna i při krytí celé spotřeby trigenerací. Tento výpočet obsahuje však řadu nepřesností již od návrhu potřeb. Nevhodná je také výše celé investice. Pro potřeby chlazení je vhodnější užití menších jednotek v místě trvání potřeby. Vzhledem ke končící životnosti některých kompresorových zařízení uvnitř areálu se dá uvažovat o změnách v tomto směru.

Užití fotovoltaiky je také možné vzhledem k nižším investičním nákladům, roční úspora je však v porovnání s ročními výdaji nepatrná. V tomto směru by mohlo dojít k instalaci i na dalších pavilonech s výjimkou budov zanesených na seznam historických budov. Instalace panelů na stěny některých prosklených pavilonů by přineslo nejen elektrickou produkci ale také zastínění a tím i nižší potřebu chladu v létě.

Vzhledem ke spotřebě elektrické energie v areálu jsem zvolil nejvhodnějším řešením odpojení objektů HD1 a HD2 od CZT a zavedením v místě VS obou bloků kogenerační jednotky. Toto opatření se může realizovat souběžně například s výše zmíněnou instalací fotovoltaiky.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KRBEK, Jaroslav; POLESNÝ, Bohumil. Kogenerační jednotky - zřizování a provoz. 1. Vydání. Praha : GAS, s.r.o., 2007. 202 s. Dostupné z WWW: <[http://mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni\\_jednotky\\_zrizovani\\_provoz\\_2220047233.pdf](http://mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni_jednotky_zrizovani_provoz_2220047233.pdf)>. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [2] KADRNOŽKA, Jaroslav a Ladislav Ochrana. *Teplárenství*. Brno: Cerm, 2001. ISBN 80-7204-222-X.
- [3] KADRNOŽKA, Jaroslav. *Tepelné elektrárny a teplárny*. Praha: SNTL, 1984, 608s.
- [4] REZAIE, Behnaz a Marc A. ROSEN. 2012. District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements. *Applied Energy*. 93, 2-10. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.04.020. ISSN 03062619.
- [5] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. 2005. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 8073001187.
- [6] Vytápíme plynem. [WWW.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/vytapime-plynem>
- [7] FUČÍK, Zdeněk. *Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů* [online]. 2004 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/kondenzace/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [8] [WWW.eon.cz](http://www.eon.cz): *Cena plynu pro distribuční oblasti* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/>
- [9] Přehled cen zemního plynu. [WWW.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [10] *Solární panely a kolektory Bramac do krytiny* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.obb.cz/produkty/solarni-kolektory-bramac/>
- [11] KÁZMĚROVÁ, Kristína. Sorpční chladicí zařízení. [WWW.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7712-sorpcni-chladici-zarizeni>
- [12] MATUŠKA, Tomáš. Solární chlazení. [WWW.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [online]. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/143-solarni-chlazení>
- [13] ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie, *Transformační technologie*, 2006-09, [last updated 2015-02]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/02.html>.
- [14] POLESNÝ, Bohumil. *Teplárenství a potrubní sítě*. 2. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1989.



- [15] ŠKORPÍK, Jiří. Vznik tlakové ztráty při proudění tekutiny, *Transformační technologie*, 2010-12, [last updated 2016-01]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/38.html>.
- [16] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [17] NEDOMA, Antonín. *Hydromechanika*. Praha: Šolc a Šimáček, 1925.
- [18] ČSN EN ISO 13790: Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. 2008.
- [19] Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. *WWW.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicestvrou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
- [20] CENTNEROVÁ, Lada. Tepelná pohoda a nepohoda. *Vytápění větrání instalace* [online]. 2000, 9(5) [cit. 2017-04-3]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [21] Zavedení postupu výpočtu potřeby tepla a chladu podle novelizované EN ISO 13790. *WWW.mpo-efekt.cz* [online]. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: [http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/091214\\_publikace\\_CSN\\_EN\\_13790\\_def\\_opr.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/091214_publikace_CSN_EN_13790_def_opr.pdf)
- [22] PARAJŇÁK, Adrian. *Chlazení průmyslových kapalin* [online]. ENERGOEKONOM SPOL. S R.O. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.energoekonom.cz/magazin-chlazení-prumyslovych-kapalin-detail-1532>
- [23] Kniha o Systému Centralizovaného Zásobování Teplem. *Plzeňská teplárenská, a. s.* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [http://www.pltep.cz/upload/File/kniha\\_o\\_sczt.pdf](http://www.pltep.cz/upload/File/kniha_o_sczt.pdf)
- [24] *Trigenerace* [online]. TEDOM, A. S. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/trigeneracni-jednotky.html>
- [25] O společnosti Veletrhy Brno. *WWW.bvv.cz* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.bvv.cz/veletrhy-brno/spolecnost/>
- [26] Plánek výstaviště. *WWW.bvv.cz* [online]. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.bvv.cz/veletrhy-brno/planek-vystaviste/>
- [27] *Teplárny Brno sníží od 1. ledna 2017 cenu tepla* [online]. 2016 [cit. 2017]
- [28] *Teplotní diagramy horkovodů* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/teplo/#projektujiteplo>
- [29] *Výkopové práce* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z:

- <http://www.teplarny.cz/vykopove-prace/>
- [30] *Kogenerační jednotky TEDOM: Katalog* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: [WWW.tedom.cz](http://WWW.tedom.cz)
- [31] *Daň ze zemního plynu* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceny/plyn/2.html>
- [32] *Historie teplot v Brně. WWW.teplarny.cz* [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/mapa-venkovnich-teplot/?rok=2016>
- [33] *Návrh cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. x / 2015 ze dne Y. listopadu 2015, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie* [online]. ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. [cit. 2017]
- [34] *Cartograph* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.ipees-elektro.cz/en/novinky/cartograph/>
- [35] *Performance of Grid-connected PV: PVGIS* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [36] *Fotovoltaické panely* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/1255400/c68811-fotovoltaicke-panely/sharp-nurd285-black.html>
- [37] BECHNÍK, Bronislav. *Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [38] *Oficiální úrokové sazby ČNB – měsíční průměr* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/cnb/ekonomika/oficialni-urokove-sazby-cnb-mesicni-prumer/diskontni-sazba/#20170430>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Běžná jednotka	Veličina
a	[-]	Součinitel relativní absorpce
CF	[Kč]	Peněžní tok
$c_p$	[kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná kapacita látky
d	[m]	Průměr potrubí
d	[%]	Diskontní sazba
DCF	[Kč]	Diskontovaný peněžní tok
E	[kWh]	Elektrická energie
e	[-]	Teplárenský modul
$E_d$	[kWh]	Průměrná denní výroba elektrické energie
$E_m$	[kWh]	Průměrná měsíční výroba elektrické energie
$E_{TUV}$	[kWh]	Elektrická energie získaná při KVET
g	[m·s <sup>-2</sup> ]	Tíhové zrychlení
h	[m]	Výška
$H_d$	[kWh·m <sup>-2</sup> ]	Průměrný denní součet intenzity slunečního záření
$H_i$	[kJ·kg <sup>-1</sup> ]	Výhřevnost paliva
$H_m$	[kWh·m <sup>-2</sup> ]	Průměrný měsíční součet intenzity slunečního záření
$H_T$	[kW·K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná ztráta vztažená na teplotní stupně
i	[kJ·kg <sup>-1</sup> ]	Měrná entalpie
k	[m]	Drsnost potrubí
$K_L$	[W·m <sup>-1</sup> ]	Součinitel prostupu tepla na jednotku délky
L	[kJ·kg <sup>-1</sup> ]	Měrné kondenzační teplo páry
l	[m]	Délka potrubí
$l_\xi$	[m]	Rovnomocná délka potrubí
$\dot{M}$	[kg·s <sup>-1</sup> ]	Hmotnostní průtok média
$\dot{M}$	[kg·s]	Hmotnostní průtok
$M_p$	[kg]	Množství páry
n	[Kč]	Náklady na MWh chladu
$n_j$	[Kč]	Cena za jednotku
$N_p$	[Kč]	Provozní náklady
O	[m <sup>3</sup> ·hod <sup>-1</sup> ]	Odpar vody z chladicí věže
p	[MPa]	Tlak
$P_C$	[GJ·rok <sup>-1</sup> ]	Celková tepelná tráta
$\dot{q}$	[W·m <sup>-2</sup> ]	Měrný tepelný tok
$\dot{Q}$	[W]	Tepelný tok
Q	[kJ]	Teplo
Q	[kW]	Tepelný výkon média
$Q_{ch}$	[kW]	Chladicí výkon
$Q_{chl}$	[kW]	Chladicí výkon
$Q_{CHV}$	[kW]	Výkon chladicí věže
$Q_{pal}$	[kW]	Výkon dodaný v palivu
$Q_t$	[kW]	Tepelný výkon
$Q_{TUV}$	[kW]	Výkon na ohřev TV
$\dot{Q}_v$	[m <sup>3</sup> ·s]	Objemový průtok média
S	[m <sup>2</sup> ]	Průřez potrubí
s	[mm]	Tloušťka izolace potrubí
$S_{plyn}$	[m <sup>3</sup> ]	Spotřeba zemního plynu

$t$	[°C]	Teplota
$t$	[kWh]	Energie
$T_{\infty}$	[K]	Teplota místa dostatečně vzdáleného od povrchu tělesa
$t_{chv}$	[°C]	Teplota chladicí vody
$T_{in}$	[K]	Teplota uvnitř
$T_{out}$	[K]	Teplota vně
$T_w$	[K]	Teplota povrchu tělesa
$V$	[Kč]	Výnos
$\dot{V}_{sTV}$	[m <sup>3</sup> ·hod <sup>-1</sup> ]	Objemový průtok spotřebovávané teplé vody
$w$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost média
$\alpha$	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Součinitel přestupu tepla
$\Delta p_z$	[MPa]	Tlaková ztráta
$\Delta p_{z,1 \rightarrow 2}$	[MPa]	Tlaková ztráta na úseku mezi stavy 1 a 2
$\Delta p_{\lambda}$	[MPa]	Tlaková ztráta na rovném úseku potrubí
$\Delta p_{\xi}$	[MPa]	Tlaková ztráta v místě lokálního odporu
$\varepsilon$	[-]	Emisivita prostředí
$\varepsilon_{COP}$	[-]	chladicí faktor
$\eta^E$	[-]	Účinnost při výrobě elektrické energie
$\eta^{KVET}$	[-]	Účinnost při kombinované výrobě elektřiny a tepla
$\eta_N$	[%]	Stupeň normového využití paliva
$\eta^{odv}$	[-]	Účinnost při oddělené výrobě elektřiny a tepla
$\eta^Q$	[-]	Účinnost při výrobě tepelné energie
$\lambda$	[-]	Součinitel tření v potrubí
$\lambda$	[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost
$\nu$	[m <sup>2</sup> ·s]	Kinematická viskozita
$\xi$	[-]	Ztrátový součinitel lokálního odporu
$\rho$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	Hustota média
$\tau$	[hod, s]	Čas

#### Zkratka

AB  
ABSCHJ  
BVV  
CVS  
CZT  
ČHMÚ  
DZT  
HD  
KJ  
KPS  
KVET  
PK  
TJ  
TUV  
TV  
VZT

#### Celý název

Administrativní budova  
Absorpční chladicí jednotka  
Brněnský výstavištní areál  
Centrální výměňiková stanice  
Centrální zásobování teplem  
Český hydrometeorologický ústav  
Decentralizované zásobování teplem  
Hospodářský dvůr  
Kogenerační jednotka  
Kompaktní předávací stanice  
Kombinovaná výroba elektřiny a tepla  
Plynový kotel  
Trigenerační jednotka  
Teplá užitková voda  
Teplá voda  
Vzduchotechnika

## SEZNAM ROVNIC

- 1.1 Teplo přenášené párou
- 1.2 Teplo přenášené horkou vodou
- 1.3 Účinnost při výrobě elektřiny
- 1.4 Účinnost při výrobě tepla
- 1.5 Součet účinností při oddělené výrobě elektřiny a tepla
- 1.6 Účinnost při kombinované výrobě elektřiny a tepla
- 1.7 Teplárenský modul
- 2.1 Rovnice kontinuity
- 2.2 Bernoulliho rovnice pro nestlačitelnou kapalinu
- 2.3 Zjednodušená Bernoulliho rovnice
- 2.4. Tlaková ztráta
- 2.5 Tlaková ztráta pro rovný úsek potrubí
- 2.6 Reynoldsovo číslo
- 2.7 Součinitel tření v potrubí
- 2.8 Tlaková ztráta v místě lokálního odporu
- 2.9 Rovnomocná délka
- 2.10 Celková tlaková ztráta
- 2.11 Délka způsobující odpovídající tlakovou ztrátu
- 2.12 Upravená rovnice kontinuity
- 2.13 Měrný tepelný tok
- 2.14 Fourierův zákon
- 2.15 Tepelný tok potrubím
- 2.16 Newtonův ochlazovací zákon
- 2.17 Prostup tepla válcovou stěnou
- 2.18 Celkový tepelný tok
- 2.19 Součinitel prostupu tepla na jednotku délky
- 4.1 Chladicí faktor
- 6.1 Prostá návratnost
- 6.2 Tepelný výkon
- 6.3 Elektrický výkon
- 6.4 Spotřeba plynu v KJ
- 7.1 Měrná tepelná ztráta prostupem
- 7.2 Průměrná měrná tepelná ztráta prostupem u objektu HD1
- 7.3 Průměrná měrná tepelná ztráta prostupem u objektu HD2
- 7.4 Spotřeba plynu v PK
- 8.1 Tepelný výkon ABSCHJ
- 8.2 Čas výroby chladu
- 8.3 Množství odpařované vody
- 8.4 Náklady na vodu
- 10.1 Peněžní tok
- 10.2 Diskontovaný peněžní tok
- 10.3 Doba splatnosti s uvažováním znehodnocování peněz